



Universidade de Brasília

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

ANNE SANTOS DE ALMEIDA

**EPIDEMIOLOGIA BASEADA NO ESGOTO: UMA PROPOSTA DE
NORMALIZAÇÃO POPULACIONAL NAS ESTIMATIVAS DO CONSUMO *PER*
CAPITA DE COCAÍNA NA REGIÃO NORTE DE BRASÍLIA**

BRASÍLIA

2023

ANNE SANTOS DE ALMEIDA

**EPIDEMIOLOGIA BASEADA NO ESGOTO: UMA PROPOSTA DE
NORMALIZAÇÃO POPULACIONAL NAS ESTIMATIVAS DO CONSUMO *PER*
CAPITA DE COCAÍNA NA REGIÃO NORTE DE BRASÍLIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Química da Universidade de
Brasília como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fabríz Sodré

BRASÍLIA

2023

Trabalho de Conclusão de Curso de autoria de Anne Santos de Almeida, intitulado “Epidemiologia Baseada no Esgoto: Uma proposta de normalização populacional nas estimativas do consumo *per capita* de cocaína na região norte de Brasília”, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Química do Instituto de Química da Universidade de Brasília em 12 de dezembro de 2023, defendido e aprovado pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Fernando Fabríz Sodré
Presidente da banca
Instituto de Química – Universidade de Brasília

Dra. Hadassa de Souza Ramos Pontes Moura
Membro titular da banca
Instituto de Química – Universidade de Brasília

Prof.^a Dr.^a Ana Cristi Basile Dias
Membro titular da banca
Instituto de Química – Universidade de Brasília

Dr. Luiz Eduardo Thans Gomes
Membro suplente da banca
Instituto de Química – Universidade de Brasília

BRASÍLIA

2023

*Aos meus pais, José Bonifácio e Zenilda, por
toda rede de apoio.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por não me permitir desistir em nenhum momento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Fabríz Sodré, por acreditar nesse projeto e por não medir esforços para que ele fosse feito e concluído com maestria, com toda certeza finalizo essa etapa muito melhor graças aos seus ensinamentos.

A todos os professores do Instituto de Química, que contribuíram para a minha formação, não apenas como profissional, mas também como pessoa que sempre vai enxergar na ciência um projeto de vida. Em especial, ao Prof. Dr. Jez Willian Batista Braga, por me receber como aluna em outros projetos durante a graduação, obrigada pela confiança no meu trabalho, pelo respeito, pelos conhecimentos e pela compreensão.

Aos meus amigos e colegas de graduação por todo saber e incentivo compartilhado ao longo desses anos. Em especial, a Julia Vargas e a Isabelle Pandolfo, que estiveram do meu lado ao longo de todos esses anos compartilhando alegrias e tristezas, sem vocês toda essa jornada não teria sido tão especial. Assim como a todos os meus amigos e colegas do laboratório AQQUA, pelo acolhimento nos projetos, troca de conhecimentos e momentos de partilha. Ao Antonio Pedro, a Natália Toledo e a Yasmin Vitória, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer.

À Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, CAESB, pela parceria firmada para que esse trabalho pudesse ser executado. Bem como a Elaine, Aline, Cláudio, José Luiz e Fernando, que em dois anos de convívio se tornaram primordiais para a construção da pessoa e profissional que sou hoje. Obrigada pela confiança, pelo apoio, pela paciência e por cada momento, sem vocês nada disso seria possível.

Aos meus pais, José Bonifácio e Zenilda, pelo amor, apoio incondicional e por todas as oportunidades que puderam me oferecer, não só durante esse período que se encerra, como por toda a minha vida.

Quero estender meus sinceros agradecimentos aos meus amigos por serem uma fonte constante de apoio, compreensão e amor, trazendo leveza à minha vida e não me permitindo abrir mão dos meus objetivos. Em especial, a Eduarda Avalone que nunca deixou de acreditar em mim, que a gente continue sendo sempre uma pela outra, por toda a vida.

Por fim, se essa realização está sendo possível é graças ao amor, paciência, carinho e suporte do meu companheiro de vida, João Pedro. Obrigada por nunca permitir que eu desistisse dos meus sonhos, você é parte de tudo isso.

RESUMO

A epidemiologia baseada no esgoto é uma estratégia que permite estimar o consumo de drogas de modo temporal e localizado a partir do uso de instrumentações e sequências analíticas complexas. Ademais, a análise de águas residuárias possibilita também o estudo da variabilidade populacional de determinadas regiões, avaliando fenômenos da sociedade moderna como a migração pendular e seus efeitos, com base em parâmetros físico-químicos do sistema de esgotamento sanitário. Com isso, se faz importante a quantificação do consumo de cocaína na região norte de Brasília, atendida pela estação de tratamento de esgoto Brasília Norte, bem como de aprimorar a normalização dos dados levantados a partir de um ajuste de população com base no fluxo de pessoas atendido pela estação, através da análise de parâmetros físico-químicos do esgoto. Acessar dados analíticos que representam a atividade humana na região, tais como valores de carga de demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo e nitrogênio, juntamente com biomarcadores presentes em concentrações elevadas em águas residuais, como o nitrogênio amoniacal, possibilita a estimativa da população efetivamente atendida em cada dia da semana. Ao investigar o atendimento diário da ETE Brasília Norte considerando a variação populacional característica de diferentes dias da semana na região, torna-se possível ajustar, quantitativamente, os dados normalizados do consumo de cocaína. Isso, por sua vez, viabiliza o delineamento de estratégias nos planos de ação para a redução tanto da oferta quanto da demanda de drogas.

Palavras-chave: epidemiologia baseada no esgoto; drogas de abuso; águas residuárias; variabilidade populacional; parâmetros físico-químicos.

ABSTRACT

Wastewater-based epidemiology is a strategy that allows for the temporal and localized estimation of drug consumption through the use of complex instrumentation and analytical sequences. Furthermore, the analysis of wastewater also enables the study of population variability in specific regions, evaluating phenomena of modern society such as pendulum migration and its effects, based on physicochemical parameters of the sanitary sewage system. Consequently, it becomes important to quantify cocaine consumption in the northern region of Brasília, served by the Brasília Norte sewage treatment station, as well as to enhance the normalization of data collected through population adjustments based on the flow of people served by the station, through the analysis of physicochemical parameters of the sewage. Accessing analytical data representing human activity in the region, such as values of chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, phosphorus, and nitrogen, along with biomarkers present in high concentrations in wastewater, such as ammonia nitrogen, allows for the estimation of the population effectively served each day of the week. By investigating the daily service of the Brasília Norte sewage treatment station, considering the characteristic population variation on different days of the week in the region, it becomes possible to quantitatively adjust the normalized data of cocaine consumption. This, in turn, facilitates the delineation of strategies in action plans for the reduction of both drug supply and demand.

Keywords: wastewater-based epidemiology; substance abuse; wastewater analysis; population variability; physicochemical parameters.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 – O consumo de drogas a epidemiologia baseada no esgoto (EBE)	10
2.2 – A variabilidade populacional e o monitoramento do esgoto via parâmetros físico-químicos	14
3 METODOLOGIA	17
3.1 Amostragem	17
3.2 Quantificação dos parâmetros físico-químicos	17
3.2.1 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)	18
3.2.2 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	18
3.2.3 – Fósforo Total	19
3.2.4 – Nitrogênio Total	19
3.2.5 – Nitrogênio Amoniacal	20
3.3 Determinação da benzoilecgonina	20
3.3.1 – Preparo da amostra e extração da benzoilecgonina	20
3.3.2 – Quantificação da benzoilecgonina	21
3.4 – Estimativa do consumo de cocaína	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 – Determinação dos parâmetros físico-químicos	23
4.1.1 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	23
4.1.2 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)	24
4.1.3 – Fósforo Total	25
4.1.4 – Nitrogênio Total	26
4.1.5 – Nitrogênio Amoniacal	28
4.2 – A normalização do consumo de cocaína	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

O mapeamento da produção e do consumo de drogas é uma estratégia crucial para que os órgãos competentes possam traçar planos de ação eficazes na política de combate às drogas de abuso e atendimento a toxicômanos. Para além dos dados captados a partir de entrevistas, apreensões, censos e informações do sistema de saúde pública, tem sido possível estimar a exposição de comunidades a diferentes drogas de abuso com base na identificação e quantificação dos resíduos pós-consumo produzidos e excretados por indivíduos. Porém, neste caso, ademais a investigação de drogas e metabólitos em urina ou fezes de indivíduos, estratégias recentes buscam ampliar o estudo para a dimensão populacional, ao investigar amostras coletadas no sistema de esgotamento sanitário.

A chamada epidemiologia baseada no esgoto (EBE) é uma ferramenta estratégica para o monitoramento dos modos de vida e do estado de saúde de uma população. Embora tenha ganhado notoriedade recente ao se colocar como uma ferramenta auxiliar no combate à COVID-19 via monitoramento de fragmentos de Sars-CoV-2 no esgoto de cidades do Brasil e do mundo, seu uso para estimar o consumo comunitário de drogas já é conhecido há quase duas décadas. Sua aplicação baseia-se grandemente no desenvolvimento, aprimoramento e/ou aplicação de técnicas analíticas capazes de identificar e quantificar substâncias químicas notadamente sob baixas concentrações em matrizes complexas.

Não apenas para compreender potenciais problemas sociais, sanitários e ambientais, a EBE também pode ser ajustada para fornecer informações com respeito à variação populacional nas áreas sob investigação. Fenômenos como a migração pendular, especialmente observado em grandes capitais durante dias úteis ou em cidades turísticas durante fins de semana, podem não apenas alterar estimativas per capita de consumo de drogas de abuso, mas também serem investigadas via EBE para fins de refinamento da estratégia. Graças a concentração de atividades e serviços em determinadas regiões de uma mesma cidade, a movimentação das populações residente e visitante pode também influenciar a vazão afluente do esgoto nas estações de tratamento de esgoto (ETE), parâmetro este igualmente importante para EBE em termos do cálculo da carga de uma determinada substância durante um tempo pré-definido.

Apesar dos avanços que a EBE trouxe para o mapeamento espacial do consumo de drogas, a estratégia ainda apresenta pontos a serem melhorados, como o fluxo variável da população. Como a EBE usualmente fornece informações normalizadas pelo número de habitantes de uma determinada região, ou seja, o consumo *per capita* de drogas daquela população, a normalização dos dados é feita em associação ao censo demográfico da região

estudada. Outras informações, como a vazão afluyente do esgoto no ponto amostral e fatores de correção associados às taxas de metabolização da droga em relação ao metabólito investigado como marcador do consumo também devem ser obtidas e, sempre que possível, refinadas.

Acessar a concentração de marcadores populacionais e do uso de drogas de uma população tem exigido o uso de técnicas analíticas instrumentais de elevada complexidade, que evoluíram com o passar dos anos possibilitando a quantificação de elementos e substâncias no esgoto sob concentrações traço. Não obstante, técnicas clássicas usualmente empregadas para acessar parâmetros físico-químicos, também podem fornecer valiosas informações para o controle do esgoto em ETEs e, potencialmente, para o refinamento de estimativas obtidas via EBE. Parâmetros como: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal, dentre outros, estão relacionados em como as populações se comportam, e assim podem auxiliar o refinamento da estimativa.

Quanto à normalização populacional dos dados, é de conhecimento que, em grandes capitais e metrópoles, ocorre uma variabilidade populacional elevada. Esse movimento se dá em função do fluxo de pessoas em diversas regiões de uma mesma metrópole em virtude dos seus estilos de vida, bem como diante da concentração de determinadas atividades em diferentes regiões, como: centros comerciais, centros hoteleiros, cidades universitárias e afins. Essa variação impacta, não apenas os dados a serem empregados para estimar o consumo *per capita* de drogas, mas também as cargas de esgoto que as ETE's recebem a depender do dia da semana.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como principal objetivo: associar o perfil de consumo de drogas de abuso com a variação populacional na região atendida pela ETE Brasília Norte durante o período de uma semana, a fim de refinar as estimativas de consumo *per capita* considerando o fluxo populacional que a região apresenta. Para isso é proposto:

1. Coletar amostras compostas de esgoto na entrada da ETE Brasília Norte durante o período de 24 h por sete dias consecutivos
2. Preparar e analisar as amostras quanto a presença de biomarcadores associados ao consumo de cocaína por extração em fase sólida e cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas;
3. Traçar o perfil de consumo de cocaína na região Norte de Brasília,
4. Analisar as amostras para parâmetros físico-químicos clássicos e qualificar a movimentação populacional da região com base nestes parâmetros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 – O consumo de drogas a epidemiologia baseada no esgoto (EBE)

Com a evolução da química como ciência no início do século XIX, começam a ser realizados os estudos envolvendo o isolamento de substâncias presentes em plantas, e seus respectivos efeitos gerados no ser humano. Em 1806, foi identificada a morfina, um alcaloide da classe dos opioides, em seguida, a cocaína em 1860 e a heroína em 1883. Todas foram, inicialmente usadas em tratamentos médicos devido aos seus efeitos analgésicos, apresentando potencial de livre comércio à época.¹

Paralelo aos efeitos paliativos que determinadas substâncias apresentavam, ainda no final do século XIX, foram apresentados os primeiros movimentos, principalmente nos Estados Unidos, contra o uso indiscriminado destas e de outras drogas. Além de questões comerciais, eram discutidos efeitos psicotrópicos, capazes de alterar comportamentos, e de dependência química. Ainda na mesma época, a elas também foram atribuídos os crescentes números associados à violência, especialmente em grupos sociais menos favorecidos.

Mesmo diante de substâncias nas quais os efeitos farmacêuticos eram empiricamente conhecidos e até defendidos por pesquisadores da época, as sequelas físicas, psicológicas e sociais que se originaram a partir do uso das mesmas de modo indiscriminado também eram evidentes. Com base nos efeitos psicotrópicos gerados pelas drogas, que a longo prazo e em larga escala, são capazes de impactar não apenas a saúde pública como também a segurança e o bem-estar social, as ideias proibicionistas foram a força motriz necessária para programas de combate às drogas ganharem escala mundial.

Impulsionado pela chamada Lei Harrison (1914), que determinava o controle, o fornecimento e a posse de substâncias como o ópio, a morfina e a cocaína, o movimento conhecido como proibicionismo, associado ao consumo de drogas, ganhou e ainda vem ganhando cada vez mais força. Assim, diversos países, tanto de forma isolada como por meio de acordos internacionais, têm tratado questões relacionadas à proibição do consumo de substâncias psicoativas com base em políticas públicas de saúde, segurança e bem-estar social.

O Brasil, já na primeira metade do século XX, passou a implementar uma política sobre drogas, tendo como pioneiro o Decreto-Lei n. 891/1938, que tratava de ações de prevenção, tratamento e repressão de drogas. Acompanhando a evolução do tráfico que surgiu alheio à proibição de determinadas substâncias, foi instituído o Sistema Nacional de Políticas Públicas sobre Drogas (SISNAD) em 2006 pela Lei n. 11.343/2006 que “prescreve medidas para prevenção do uso indevido, atenção e reinserção social de usuários e dependentes de drogas,

em consonância com a política sobre drogas vigente”. A última atualização jurídica do SISNAD ocorreu em 2019, com o Decreto 9.761/2019, que regulamentou a Política Nacional Sobre Drogas (PNAD).^{2,3}

Entre os pressupostos da PNAD está a redução de oferta e demanda de drogas, em ações que devem ser impulsionadas, principalmente, pela Secretaria Nacional de Política Sobre Drogas (SENAD). Para aplicações de ações efetivas, faz-se necessário o mapeamento da oferta e demanda de drogas em cada região para que estratégias eficazes de combate sejam traçadas. Com isso, não apenas fontes administrativas como: entrevistas, censos, base de dados da saúde e da segurança pública podem fornecer essas informações, mas também a partir da determinação dos resíduos de drogas de abuso e seus metabólitos gerados no sistema de esgotamento sanitário.

A epidemiologia baseada no esgoto teve seu cerne no livro *“Pharmaceuticals and Care Products in the Environment: Scientific and Regulatory Issues”* de 2001 no qual, o cientista Christian G. Daughton identificou que resíduos de drogas ilícitas poderiam ser detectados no esgoto de efluentes domésticos. Mesmo com a indicação de Daughton em 2001, só em 2005 que essa estratégia foi de fato praticada, pelo pesquisador Ettore Zuccato do Instituto Mario Negri de Pesquisas Farmacológicas na Itália, onde foram reveladas concentrações consideráveis da cocaína, tanto na sua forma bruta como de benzoilecgonina, seu principal metabólito pós consumo, concentrações essas que indicavam um consumo dessa substância muito superior do que os dados oficiais apresentavam.⁴

A EBE é uma estratégia eficiente, rápida e localizada de monitoramento do modo de vida de uma determinada população ou região. Resíduos de hormônios, fármacos e poluentes químicos como agrotóxicos, também são estudados via EBE para complementar base de dados e sistemas integrados de informações. Recentemente, a EBE ganhou notoriedade e se apresentou como aliada para o monitoramento e combate da COVID-19, através de análises do esgoto com fragmentos do vírus Sars-CoV-2, por se tratar de uma ferramenta rápida e se consolidou como técnica de mapeamento de focos emergentes, bem como na execução de sistemas de alerta.

A principal aplicação da EBE se dá para o monitoramento do consumo de drogas de abuso. Para que esse estudo ocorra é necessário identificar e quantificar potenciais biomarcadores que possuam a seguinte descrição: “Um biomarcador adequado deve ser mensurável em águas residuárias brutas, ter sido lançado no esgoto apenas como resultado da excreção humana, ter um perfil de excreção bem definido para evitar interferências de fontes

exógenas ou endógenas, ser estável durante o transporte no sistema de esgotamento sanitário, durante a amostragem e no armazenamento das amostras.”⁴

Dado que esses metabólitos de interesse estão presentes em baixa concentração em uma amostra de matriz complexa, a análise requer o uso de técnicas instrumentais com elevada detectabilidade, sensibilidade e robustez. Essas técnicas devem ser capazes de identificar e quantificar a substância de interesse, mesmo na presença de outras substâncias que possam ser interferentes. Para isso, as etapas de preparo da amostra devem também contar com métodos que auxiliem na determinação da substância alvo.

A estratégia de extração em fase sólida (do inglês *solid phase extraction*- SPE) é regularmente utilizada quando se trata de amostras de matrizes complexas com analitos em baixas concentrações. Essa técnica permite a concentração das substâncias de interesse viabilizando a qualificação e quantificação das mesmas através das técnicas de cromatografia. A quantificação do metabólito de interesse é feita via cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE ou HPLC do inglês “*high performance liquid chromatography*”) acoplada à um analisador de espectrômetro de massas sequenciais (MS, do inglês “*mass spectrometry*”), ou LC-MS/MS.

A gama de drogas de abuso a se investigar via EBE é grande. Existem estudos em diferentes tipos de drogas como o álcool, a maconha, a heroína e alguns estimulantes anfetamínicos como a metanfetamina e o ecstasy, conhecidos como drogas sintéticas. Para a investigação do etanol a EBE possui, como foco, os metabólitos etilglicuronídeo e etilsulfato, já para o estudo da maconha se utiliza seu metabólito 11-nor-9-carboxi-THC. Para análise da heroína e de anfetamínicos no geral usa-se a detecção da 6-acetilmorfina no esgoto, por ser um metabólito estável, mas que se confunde com o uso hospitalar autorizado desse mesmo metabólito na forma de morfina. Além das já citadas, outras substâncias psicoativas vêm sendo estudadas via EBE ao redor do mundo.

A cocaína é a substância ilícita mais investigada pela EBE em todo o mundo e será objeto de estudo neste trabalho. Apresenta-se predominantemente em duas formas associadas ao seu consumo: na forma de base livre, como é o caso do crack, ou na forma de pó, conhecido como sal cloridrato de cocaína. A administração da cocaína na forma de crack ocorre por via pulmonar, através da inalação, enquanto o uso do sal é facilmente absorvido pelas mucosas nasais, caracterizando a forma de administração intranasal. Dado que existem diferentes modalidades de administração da cocaína, a via de uso influencia diretamente na proporção dos metabólitos gerados após o consumo.

A benzoilecgonina (figura 1), é o principal metabólito da cocaína e o biomarcador mais utilizado para se estimar o consumo, referente ao uso da cocaína de forma intranasal, que se trata da via mais utilizada. Para se estimar o uso do crack são utilizadas outras duas formas, a primeira é referente à quantificação da anidroecgonina, que possui certas limitações, como a deficiência de informações necessárias para calcular a sua taxa de metabolização, já a segunda se refere ao monitoramento dos adulterantes, substâncias que tentam imitar ou simular os efeitos da droga.

O perfil de consumo de cocaína, apresentado na literatura⁴, demonstra o maior uso da substância em dias de finais de semana em relação aos dias da semana, indicando um consumo para fins recreativos e sociais.

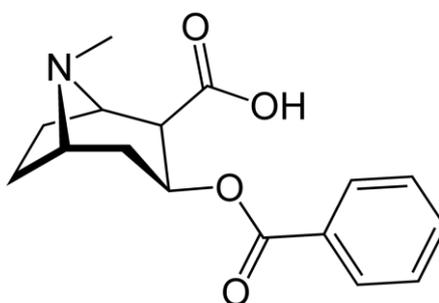


Figura 1 – Estrutura da benzoilecgonina

Uma das principais atribuições da EBE é fornecer dados do consumo *per capita* de drogas. Para isso, é primordial utilizar dados confiáveis sobre o número de indivíduos presentes na região em estudo. Atualmente, os dados populacionais empregados nessa estratégia consideram variados fatores como: o censo demográfico da área atendida pela ETE e/ou extrapolações derivadas da sua capacidade de atendimento, do número de residências conectadas à rede coletora ou da vazão média ao longo do período. Contudo, esses dados não possuem atualizações constantes e não refletem a dinâmica das variações no número de indivíduos na região⁴, como os efeitos causados pelo fenômeno de migração pendular.

Desse modo, “Para consolidar as estimativas populacionais na EBE, algumas estratégias têm sido adotadas, como realização de amostragens junto ao censo demográfico e a normalização da população em função de parâmetros físico-químicos do esgoto.”⁴

2.2 – A variabilidade populacional e o monitoramento do esgoto via parâmetros físico-químicos

Conforme o avanço das cidades e sociedades, ocorreu e ainda ocorre, a segregação dos diferentes locais de uma mesma região. Fatores sociais, econômicos, ambientais e culturais, por exemplo, são determinantes para que a divisão de áreas metropolitanas ocorra, de modo a cada vez mais existirem os chamados centros ou polos sejam eles: residenciais, comerciais, acadêmicos, turísticos e afins. Conforme esse movimento de polarização urbana se estabelece, muitos dos cenários se dão na forma de polos comerciais concentrados nas regiões centrais das cidades, enquanto muitos dos trabalhadores e frequentadores dessas regiões residem em espaços mais afastados.

Diante desse fenômeno, surge o conceito de movimento pendular de populações ou migração pendular, no qual ocorre um deslocamento diário de pessoas entre uma região e outra, motivados por questões de trabalho, saúde, estudos ou outros. Na região Sudeste, principalmente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, é corriqueiro o processo de migração pendular⁵. Em Brasília, estudos apontam também que o mesmo processo é visto, tanto entre as diferentes regiões administrativas (RA) do Distrito Federal como em cidades do entorno, que pertencem ao estado de Goiás.⁶

Um dos efeitos da migração pendular é estabelecer um perfil semanal do fluxo de pessoas, de modo que esse fenômeno é intensificado em dias de semana em grandes capitais e centros urbanos ou em dias de final de semana em cidades turísticas, por exemplo. Por isso, os impactos causados pela variação de pessoas são diferentes a depender das características que a região apresenta, seja ela comercial, residencial ou mesmo turística, bem como da escala temporal que é avaliada (dia, semana, mês, etc).

Existem diversos fatores que podem ser estudados para compreender melhor essa mobilidade populacional, baseado nos efeitos gerados devido à concentração de pessoas durante os períodos comerciais da semana nos grandes centros, como: dados das redes de telefonia, censos, entrevistas, dados e ocorrências do trânsito e da mobilidade urbana e mesmo os impactos ambientais causados. Como a EBE trabalha em tempo real, o fenômeno de migração pendular gera diferença suficiente no sistema de águas residuárias para que ele seja estudado através dessa estratégia de modo a compreender melhor a contribuição *per capita* na carga do esgoto.

Conscientes desses fenômenos atuais, as próprias companhias responsáveis pelo tratamento do esgoto realizam o monitoramento constante da vazão da estação de modo a não

comprometer o sistema de tratamento. O monitoramento também é realizado com base na análise de determinados parâmetros físico-químicos a fim de conhecer a carga de cada um deles para as estações. Parâmetros como DQO, DBO, teor de sólidos suspensos, controle de fósforo e nitrogênio e alguns outros são representativos para esse acompanhamento e também podem ser relacionados ao fluxo populacional baseado em que tipo de atividade gera maior contribuição para cada parâmetro.

A realização de análises físico-químicas de águas residuárias serve para caracterizar e monitorar, tanto o tratamento que vem sendo realizado na estação, como para identificar o perfil do esgoto que a estação recebe. Com esse perfil do esgoto de determinadas regiões estabelecido, se torna viável identificar os modos de vida da população, bem como constatar os impactos ambientais da região ou mesmo detectar possíveis focos de contaminação. Parâmetros que estabelecem o monitoramento do esgoto permitem identificar a concentração das suas atividades química e biológica. Os parâmetros explorados pelo presente trabalho são: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (PT), nitrogênio total (NT) e nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$).

A DQO refere-se à quantidade de oxigênio necessária para decompor quimicamente a matéria orgânica. É um parâmetro útil para estimar o potencial de poluição de águas e efluentes e, conseqüentemente, suas capacidades de interferência em um ecossistema, já que está diretamente associada à presença de matéria orgânica no meio. No caso de águas residuárias, são esperados valores elevados que refletem a contribuição de toda a matéria orgânica descarregada no sistema de esgotamento sanitário.^{7,14}

A DBO trata do oxigênio necessário para que as bactérias presentes na amostra decomponham o material orgânico, medindo o oxigênio disponível para os organismos vivos, ou seja, quanto maior um valor de DBO, menor é o oxigênio disponível para os organismos vivos presentes na amostra.⁷

Em águas residuárias, o fósforo se apresenta de 3 diferentes formas: ortofosfatos, fosfatos orgânicos e polifosfatos orgânicos ou inorgânicos. Os ortofosfatos podem ser resultantes de hidrólise de outros compostos ou estarem presentes diretamente na descarga de efluentes, sendo a sua porção mais representativa. Os fosfatos orgânicos são provenientes de dejetos e restos de alimentos, que no ambiente rapidamente se convertem para ortofosfatos. Os polifosfatos orgânicos ou inorgânicos são compostos presentes, principalmente, nos detergentes e são convertidos a ortofosfatos mediante hidrólise ácida. Todas essas formas são englobadas quando se realiza a análise de fósforo total.⁸

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes presentes em águas residuárias. Por estarem na mesma família da tabela periódica o fósforo e o nitrogênio possuem comportamentos e propriedades similares na natureza. Desse modo, participam de processos em comum no meio ambiente, como a eutrofização (comumente observada em sistemas aquáticos) suas apresentações no sistema de esgoto também são similares, de modo que seus perfis de disponibilidade são análogos. A ocorrência do nitrogênio se dá principalmente em formas iônicas como: amônio, nitrito e nitrato, também é apresentado como nitrogênio orgânico que, considerando as estruturas em que está presente, se dá mediante concentrações traço. Dessas, um importante biomarcador é a amônia, efetiva na forma de amônio em águas residuárias.⁹ Para a análise de nitrogênio total, todas essas formas são consideradas.

O nitrogênio amoniacal é formado por uma parcela do íon amônio (N-NH_4^+) e por uma parcela referente ao gás amônia (N-NH_3). A fração total é determinada tanto pelo pH quanto pela temperatura do meio. Para sua análise em águas residuárias, que geralmente possui um pH na faixa de 7,0-8,0 e amostras resfriadas na faixa de 6 °C, o íon amônio se torna predominante devido a sua maior solubilidade, ainda que as duas espécies coexistam em equilíbrio. Desse modo, o que se é analisado de fato é o chamado nitrogênio amoniacal, que abrange as duas formas. No sistema de esgotamento sanitário a amônia é resultado direto de descargas de efluentes, da hidrólise da ureia e da degradação biológica de aminoácidos e de outros compostos orgânicos.^{9,10}

Com isso, a fim de minimizar a incerteza associada à população efetivamente atendida pela ETE Brasília Norte e fornecer dados de consumo *per capita* de cocaína mais exatos, os valores de carga dos parâmetros físico-químicos mencionado serão analisados a fim de determinar essa população.

3 METODOLOGIA

3.1 Amostragem

Os métodos usados nesse trabalho envolveram coletas de amostras de esgoto no ponto afluente da ETE Brasília Norte. A coleta foi realizada em parceria com a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), com o uso de amostradores automáticos refrigerados, de modo a permitir maior preservação dos biomarcadores de interesse durante o período amostral. Alíquotas de esgoto foram coletadas de hora em hora em função da vazão afluente do esgoto ou em tempos pré-determinados. A partir da mistura das 24 alíquotas, referente ao período de 24h, no frasco de coleta, foi gerada uma amostra composta e representativa. Foram coletadas amostras ao longo de sete dias consecutivos, sendo que ao final de cada dia foi obtida uma amostra. O período de coleta foi entre 00:00 do dia 02 de agosto de 2023 e 23:59 dia 08 de agosto de 2023.

Além de contar com a estrutura de amostradores da CAESB, o presente trabalho também fez o uso de dados que são fornecidos pela companhia como: vazão volumétrica do esgoto na estação nos dias de coleta e a estimativa da população atendida pela estação. Essas informações são necessárias para os cálculos de carga, ajuste de população atendida com base na variação de carga recebida pela estação nos diferentes dias da semana, bem como para o cálculo do consumo *per capita* de cocaína.

A ETE Brasília Norte foi a estação escolhida para ser estudada nesse trabalho por dois principais motivos: a Asa Norte estar localizada na região central de Brasília e apresentar as características que a enquadram como uma região onde a migração pendular ocorre por concentrar atividades comerciais, escolares, universitárias, hospitalares e afins, e por também, em estudos anteriores ser a região que apresenta o maior consumo *per capita* de cocaína do Distrito Federal como um todo.⁴

3.2 Quantificação dos parâmetros físico-químicos

As análises descritas a seguir foram realizadas no laboratório da ETE Brasília Norte em parceria com a CAESB. O preparo comum da amostra para todos os processos, consistiu em, inicialmente, liquidificar a amostra a fim de diminuir partículas de maior tamanho da amostra bruta e assim, garantir uma maior homogeneidade.

Para garantir os resultados foi utilizado o procedimento de *Critical Quality Attribute* (CQA) adotado na própria rotina de laboratório. Para os ensaios de DQO, fósforo total, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal o CQA é feito diariamente com um branco do método

(controle), um branco fortificado de laboratório (solução padrão correspondente à faixa de trabalho do método) e uma amostra fortificada, em duplicata (metade do volume da solução padrão e outra metade com a amostra). Para esse ensaio, a faixa de recuperação aceitável é de 80 a 110%. Para o ensaio de DBO, o procedimento CQA é feito uma única vez durante a semana com o branco do método e uma amostra escolhida aleatoriamente, em duplicata.

Os procedimentos descritos a seguir foram executados para diferentes alíquotas de uma mesma amostra, com exceção do ensaio de DBO, a fim de minimizar possíveis incertezas.

3.2.1 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A determinação de DQO foi feita com uso de kits fornecidos pela Merck (Kit DQO 25-1500 mg de O₂/L, método fotométrico; referência: 114541), consistindo em tubos contendo uma mistura de ácido sulfúrico, dicromato de potássio e sulfato de mercúrio. O procedimento consistiu em adicionar 3 mL da amostra bruta ao tubo, seguido de homogeneização manual e digestão por 2 h a 150 °C em um termorreator. Ao final da digestão, os tubos foram deixados em repouso por 10 min, homogeneizados e deixados novamente em repouso por mais 30 min até temperatura ambiente. Em seguida, foi feita a leitura no espectrofotômetro UV-Vis Prove 600 (Merck, Alemanha). As amostras permanecem estáveis para leitura por até 24 h.

3.2.2 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Para DBO, foram obtidas informações sobre a DBO carbonácea (DBO_C)⁵, em que amostras são enriquecidas com nutrientes estimulantes do processo de respiração das bactérias presentes. Este método respirométrico se baseia na medição do CO₂ absorvido por pastilhas de NaOH_(s), gerando uma pressão negativa. A diferença de pressão é lida por um sensor e convertida para DBO (mg de O₂/L).¹²

Para a determinação da DBO, as amostras foram preparadas e encubadas no dia seguinte à coleta. Para tanto, 56 mL de amostra, medidos em proveta, foram enriquecidas com 3 gotas de inibidor de nitrificação, com 1 mL de seis soluções que visam fornecer nutrição mínima e controle de pH, além de 1 mL de solução de semente liofilizada, que estimula o processo de respiração. As amostras foram então transferidas para garrafas âmbar (500 mL) e oxigenadas por cerca de 1 min com o auxílio de um compressor de ar. Em seguida, foram tampadas com dispositivos GK 600 L contendo 3 pastilhas de NaOH_(s) e vedadas com sensores respirométricos BOD Direct Plus (Hach, EUA).¹² As amostras foram mantidas sob agitação magnética e sob temperatura entre 19 e 21 °C durante todo o período de incubação. Ao final do 5º dia, a análise

foi finalizada e o valor obtido foi convertido para DBOc e reportado como resultado final.¹²

3.2.3 – Fósforo Total

Para a quantificação de fósforo total, 10 mL de amostra bruta foram transferidos para um tubo de digestão contendo 40 mL de água ultrapura (Purelab Flex, Elga Veolia, Inglaterra). Em seguida, foram adicionados 0,5 g de perssulfato de potássio e 1 mL de ácido sulfúrico P.A. Os tubos foram então tampados e as amostras levadas a digestão em micro-ondas Mars 6™ (CEM Corporation, EUA) por 30 min a 170 °C. Em seguida, os tubos foram deixados em banho de gelo até atingirem temperatura ambiente, sendo então abertos, enriquecidos com 1 gota de solução de fenoltaleína e com solução de hidróxido de sódio 1 mol/L P.A. até se atingir coloração levemente rosada. Após ajuste do pH, as amostras foram avolumadas até 100 mL com água ultrapura. Uma alíquota de 50 mL da solução resultante foi transferida para um tubo de Nesler, onde foi adicionado 1 gota de ácido sulfúrico para desaparecimento da coloração rosa. A temperatura da solução foi então aferida, de modo que estivesse com variação de ± 2 °C em relação à ambiente.

Em seguida, foram adicionados 2 mL de solução de molibdato de amônio 0,041 mol/L e 5 gotas de solução de cloreto estânico 0,111 mol/L. A amostra adquiriu uma coloração azul, proporcional à concentração de fósforo. Após 10 min, foi realizada medida espectrofotométrica em equipamento UV-Vis DR 6000 (Hach, EUA), tomando-se o cuidado de realizar a medida rapidamente, já que a estabilidade do meio reacional é de apenas 2 min.¹³

3.2.4 – Nitrogênio Total

Para o ensaio de nitrogênio total, 1 mL de amostra foi transferido para um tubo de digestão contendo 9 mL de água ultrapura. Em seguida, foi adicionada uma medida de, aproximadamente 0,1565 g de perssulfato de potássio (reagente N-1K), o tubo foi fechado, homogeneizado e novamente aberto para o acréscimo de 6 gotas da solução de hidróxido de sódio (reagente N-2K), seguido de homogeneização e digestão por 1 h a 120 °C em um termorreator. Posteriormente, os tubos foram resfriados em temperatura ambiente e após 10 min homogeneizados. Passados 10 min, 1 mL da amostra digerida e 1 mL do reagente N-3K foram adicionados ao tubo fornecido pela Merck (Kit Nitrogênio Total 10-150 mg/L - N; método fotométrico; referência: 114763), seguido de homogeneização e após 10 min foi feita a leitura no espectrofotômetro UV-Vis Prove 600 (Merck, Alemanha). As amostras permanecem estáveis para leitura por até 1 h.

3.2.5 – Nitrogênio Amoniacal

Para a determinação do nitrogênio amoniacal, as análises foram realizadas no dia seguinte à coleta. Para isso, a amostra foi previamente filtrada em uma membrana de 0,45 µm de acetato de celulose (Sigma-Aldrich, Alemanha). Em seguida, foi adicionado 0,1 mL da amostra filtrada ao tubo fornecido pela Merck (Kit Amônio 4,0-80,0 mg/L NH₄⁺-N; método fotométrico; referência: 114559) seguido de homogeneização, acrescentou-se uma medida de aproximadamente 0,0331g, do reagente NH₄-1K (nitroprussiato de sódio e trocloseno sódico dihidratado) e homogeneizou-se o tubo. Após 15 min a amostra adquiriu coloração verde, e a leitura foi feita em espectrofotômetro UV-Vis Prove 600 (Merck, Alemanha). As amostras permanecem estáveis para leitura por até 1 h.

3.3 Determinação da benzoilecgonina

Os materiais e métodos descritos a seguir bem como valores analisados serão referentes à determinação da concentração de benzoilecgonina, principal metabólito da cocaína, presente em águas residuárias. Todas as etapas foram realizadas no laboratório AQQUA (Automação, Quimiometria e Química Ambiental) no Instituto de Química da Universidade de Brasília para onde as amostras, devidamente identificadas, foram transportadas sob refrigeração a fim de garantir a preservação dos metabólitos de interesse.

3.3.1 – Preparo da amostra e extração da benzoilecgonina

Essa primeira etapa objetiva o isolamento do analito de interesse da matriz do esgoto. Inicialmente, 100 mL de amostra foram filtrados em membranas de fibra de vidro de 0,8 -1,2 µm (Macherey-Nagel), tiveram seu pH ajustado para 6 com hidróxido de amônio 28% P.A. e foram também enriquecidas com 20 ng de solução de padrão interno – benzoilecgonina-D3 (BE-D3), grau analítico (Cerilliant). Em seguida, o metabólito foi isolado da amostra empregando a estratégia de extração em fase sólida, de modo que tanto a amostra quanto seu padrão interno adicionado foram extraídos em cartucho Strata X de 6 mL com 200 mg de fase sólida (polimérica de balanço lipo/hidrofílico) da marca Phenomenex.

Antes de adicionar amostra o cartucho foi condicionado a 8 mL de metanol de grau HPLC (Supelco) com 8 mL de água ultrapura (Arium Mini, Sartorius, Alemanha). A amostra foi percolada pela fase sólida por gravidade e eluída do cartucho com duas alíquotas de 4 mL de metanol em um manifold (Visiprep, Supelco).

Em seguida, a amostra foi pré concentrada em fluxo de nitrogênio no Multivap 10

(LabTech), e o eluato foi reduzido a 100 microlitros, aferido com micropipeta e avolumado para 1 mL com água ultrapura, o volume final foi novamente aferido com micropipeta.

Além da técnica SPE, as amostras foram adicionadas de substâncias isotopicamente marcadas dos analitos a fim de contornar possíveis interferências causadas por efeitos de matriz e para ensaios de recuperação, na química analítica esta estratégia é conhecida como padronização interna. A padronização do tipo *surrogate* faz o uso de uma substância pura, similar química e fisicamente ao analito, de forma a ajustar as concentrações de possíveis perdas no processo de extração, bem como de fornecer a eficiência global, correção do sinal analítico, que passa a ser normalizado e avaliar a recuperação do processo de forma simplificada¹¹. O padrão *surrogate* BE-D3 foi adicionado à amostra de forma a ser submetido também a todas as etapas de preparo e extração.

3.3.2 – Quantificação da benzoilecgonina

O *LC* (190 Flexible Pump, Agilent, EUA) conta com uma coluna de fase reversa Zorbax Eclipse Plus C18 (2,1x50 mm, 1,8 µm, Agilent, EUA) com metanol e acetonitrila 5% (grau HPLC, Sigma Aldrich) como fases móveis, ambas enriquecidas com ácido fórmico 0,05% (v/v).

Nessa técnica a substância é monitorada por meio das transições características da relação íon-percursor/íon-produto. No sistema triploquadrupolo íons moleculares formados na interface LC-MS/MS são filtrados no primeiro quadrupolo (Q) e sujeitos a fragmentação controlada em uma célula de colisão (q), por fim, os fragmentos resultantes são selecionados no terceiro quadrupolo⁴. A interface entre os sistemas *LC* e *MS* se dá por uma fonte de ionização.

No *MS* (TQ 6470, Agilent, EUA) uma fonte de ionização por *electrospray* (ESI, do inglês *electrospray ionization*) (Jet Stream, Agilent, EUA) foi utilizada como interface. O analito foi ionizado em modo ESI positivo, sob tensão capilar de 3500 V a 200 °C. N₂ de alto grau (Genius XE, Peak Scientific, EUA) foi usado como gás de bainha a 12 L/min e 350 °C, gás de nebulização a 35 psi e gás de secagem a 11 L/min e 200 °C.

Considerando ser uma amostra de matriz complexa, o efeito de matriz é uma interferência esperada. Com isso, uma das formas de minimizar esse efeito, além das já citadas, é a construção da curva analítica em superposição matriz, fazendo o uso de matrizes similares às analisadas (como a padronização interna do tipo *surrogate* usando análogos deuterados). Esse método permite a correção de flutuações do sinal analítico.

3.4 – Estimativa do consumo de cocaína

A estimativa do consumo foi feita com base em um retrocálculo (equação 1) que considera a concentração de benzoilecgonina no esgoto, a vazão volumétrica da estação, um fator de correção f e o número de habitantes atendidos pela ETE.⁴

$$C = \frac{c \cdot Qv \cdot f}{hab} \quad (1)$$

Onde: C é a estimativa do consumo (em mg/dia/1000hab), c é a concentração de benzoilecgonina (em mg/L), Qv é vazão volumétrica da estação (em L/dia), f é um fator de correção relacionado à proporção molar da droga metabolizada e excretada após o consumo e hab é o número de habitantes atendidos.

As etapas descritas nas seções 3.3.1 e 3.3.2 foram para acessar a concentração de benzoilecgonina no esgoto (em mg/L). A determinação do consumo de drogas de abuso via EBE depende ainda de outra informação importante: o fator de correção f , sendo esse o valor que indica a proporção da droga metabolizada e excretada pós consumo⁴. O fator f considera a proporção molar da cocaína metabolizada à benzoilecgonina, em relação à sua taxa de excreção, considerada como 25% para o Brasil. Assim, ao dividir a razão das massas molares de cocaína e benzoilecgonina (303/289) por 0,25 obtém-se um valor de f de 4,19.

Os dados de vazão volumétrica da estação bem como o número de habitantes atendidos foram fornecidos pela CAESB.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Determinação dos parâmetros físico-químicos

4.1.1 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

De todos ensaios realizados, a DBO se tratava do método com maiores dificuldades de aplicação. Para a execução da metodologia era necessário o equipamento de leitura do método respirométrico, bem como das garrafas âmbar em agitação durante os 5 dias de medição em incubadora, para cada uma das amostras, por isso, as mesmas não puderam ser replicadas. Portanto, para cada amostra referente a cada dia da semana foi feita apenas uma replicata.

A amostra do dia 02 de agosto, referente ao dia de quarta-feira, foi colocada em uma posição do equipamento que dois dias depois da sua incubação foi reportada falha de leitura. Como a validade de cada amostra para se realizar o procedimento de DBO é de 24 horas, ao ser notado o defeito do equipamento, a amostra já estava vencida e não pode ser refeita mesmo conservada em câmara fria, considerando a perda da amostra referente a esse dia. Após notada a falha, a posição da amostra no equipamento foi alterada e assim iniciou-se uma nova medição, que estava nitidamente subestimada. Por esse motivo, com a DBO, não foi possível se fazer a estimativa de variação populacional da ETE Brasília Norte.

O gráfico 1 apresentado a seguir mostra os dados de concentração de DBO nos diferentes dias de semana, com exceção da quarta-feira, no qual o dado foi considerado como perdido.

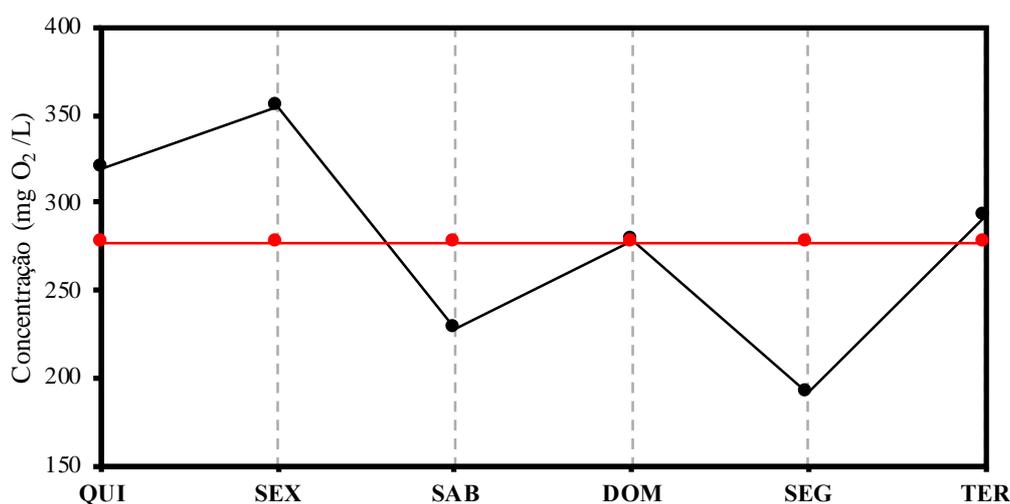


Gráfico 1 – Concentração de DBO recebida pela ETE Brasília Norte entre quinta e terça-feira, e em vermelho sua média.

A partir dos resultados dos dias que não apresentaram falhas aparentes, é possível avaliar um perfil de esgoto atendido pela ETE Norte com base nos seus valores de DBO. Considerando

que os valores de DBO de um ponto de afluência do esgoto doméstico bruto varia de 200 a 500 mg de O_2/L ¹⁴, a média da concentração de DBO da ETE Brasília Norte ficou em torno de 280 mg de O_2/L configurando o esgoto recebido na estação como efluente doméstico e sem fontes aparentes de contaminação industrial.

Os resultados referentes à DBO não apresentam um padrão bem definido entre os dias de semana e os dias de final de semana. Um outro ponto a ser comentado é que o mesmo perfil de pontos altos e baixos foram apresentados nos gráficos tanto de concentração (mg de O_2/L) quanto de carga (mg de O_2/dia). Com exceção do ensaio de DBO todos os demais parâmetros tiveram as análises realizadas sem maiores problemas.

4.1.2 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A contribuição para a carga de DQO no esgoto pode ser proveniente de diversas fontes, sejam elas atividades humanas, animais, industriais, ambientais ou outras. Mesmo possuindo diferentes contribuintes para sua elevada concentração, a DQO é um importante fator a ser estudado para se avaliar variabilidade populacional considerando que a atividade humana é uma grande fonte para o aumento ou diminuição da sua carga no sistema de águas residuárias, especialmente em efluentes domésticos, que como comprovado pela DBO é o caso da ETE Brasília Norte.

O gráfico 2 apresentado a seguir trata dos valores de carga de DQO, que consideram a vazão diária da estação, e foram convertidos a unidade de kg/dia a fim de melhoria na escala.

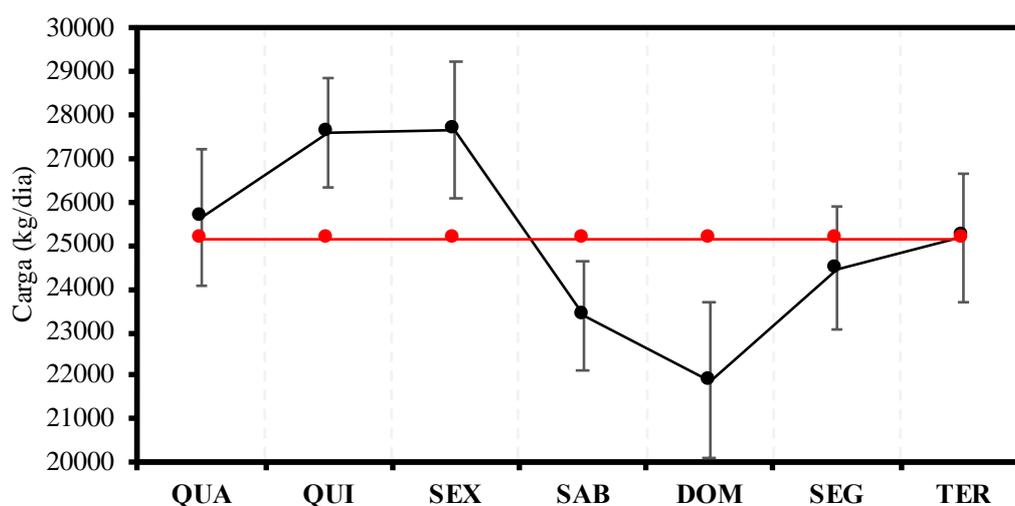


Gráfico 2 – Carga de DQO recebida pela ETE Brasília Norte durante o período de uma semana, e em vermelho sua média.

É importante levar em conta, que por se tratar do ponto de afluente da ETE os valores de concentração de DQO se encontram na faixa de 460-540 mg de O₂/L diariamente.

O gráfico mostra uma variação da carga de DQO recebida durante os dias da semana de modo que nos dias de semana a atividade no sistema de esgoto é maior em relação aos dias de final de semana. É perceptível ainda os maiores valores de DQO nos dias de quinta e sexta-feira e uma queda brusca em relação ao sábado e ao domingo, enquanto que a segunda feira mostra novamente um movimento de aumento desse valor. A partir desse gráfico pode-se começar a entender como se dá a variação de população na região norte de Brasília.

Os dados de vazão foram obtidos de forma horária gerando assim, diariamente, 24 diferentes valores, o valor considerado para se fazer os cálculos foi o valor médio. Diante disso, a incerteza associada à medida da vazão foi considerada na barra de erros, juntamente com os desvios apresentados nos resultados das análises, através da relação de desvio combinado.

Os valores de incerteza associados aos resultados das análises foram relativamente baixos sendo pouco contribuintes para a barra de erros, no entanto, os valores de vazão foram altamente contribuintes. A variação da vazão diária na ETE Brasília Norte é grande considerando, tanto os horários de pico, quando as atividades começam a ser realizadas na região (como das 06:00 até as 18:00 horas), quanto os horários de baixa (como o período noturno). Por conta disso, a ETE Brasília Norte conta com um sistema de equalização do esgoto que afeta diretamente as medidas de vazão.

O processo de equalização na ETE Brasília Norte é realizado de modo a otimizar o tratamento da estação. A relação da variação da vazão com esse sistema é em função do medidor de vazão da estação estar localizado ao final do tratamento, considerando que a vazão que entra na estação é a mesma que sai, o equipamento considera a diferença de vazão gerada pela equalização, mas o ponto de coleta do afluente não sofre nenhuma alteração gerada por esse sistema. Por conta disso, os valores de incerteza associados à vazão são maiores contribuintes para os erros dos dados do que os valores de incerteza das análises em si.

4.1.3 – Fósforo Total

Uma das principais fontes de fósforo na natureza se dá através de águas residuárias. Em efluentes domésticos, os contribuintes para a carga de fósforo são, principalmente, detergentes e sabonetes superfosfatados e alguns outros produtos de higiene pessoal e mesmo a excreção humana que é rica em proteínas. Com isso, pode-se associar os valores de fósforo presentes em águas residuárias à atividade humana em exercício no local sob investigação.

O gráfico 3 apresentado a seguir trata dos valores de carga de fósforo total, que consideram a vazão diária da estação, e foram convertidos a unidade de kg/dia a fim de melhoria na escala.

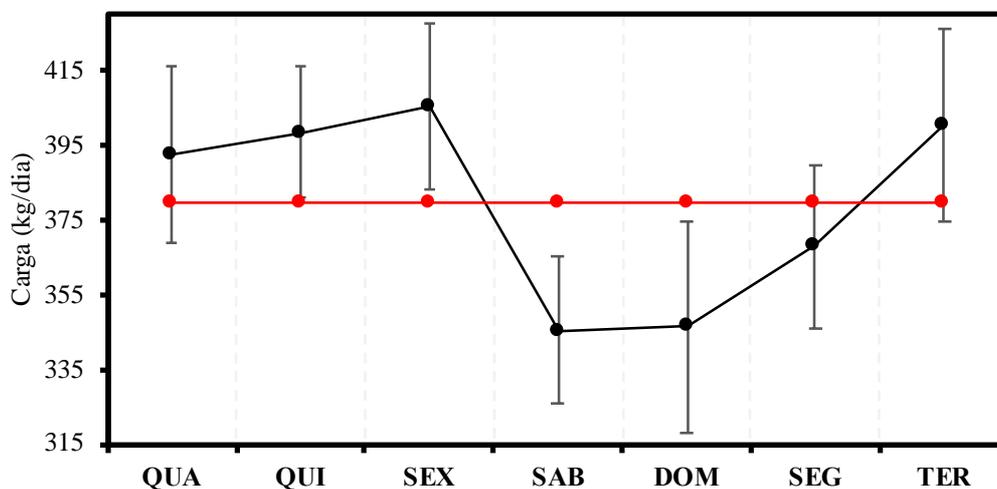


Gráfico 3 - Carga de fósforo total recebida pela ETE Brasília Norte durante o período de uma semana, e em vermelho sua média.

No ponto de entrada da ETE valores de concentração de fósforo total se encontram na faixa de 7-9,0 mg/L diariamente. Considerando o fator de diluição, que apenas na análise de fósforo foi necessário de ser utilizado, como dito na seção 3.2.3, mais uma fonte de erro é adicionada à incerteza da análise, que ainda assim não se sobrepõe à incerteza da vazão, que continua sendo a maior contribuinte para a barra de erros. Mesmo assim, por apresentar mais uma fonte de erro, a incerteza associada a medida acaba se tornando maior que a apresentada no gráfico 2.

Assim como na DQO, o gráfico 3 apresenta uma nítida diferença dos dias de semana (segunda a sexta-feira) e dos dias de final de semana (sábado e domingo). Enquanto a carga apresenta seu ponto máximo na sexta-feira, sofre uma queda brusca para o sábado, que possui seu valor de carga muito similar ao domingo, e por sua vez volta a crescer a partir da segunda-feira. Considerando o gráfico de carga de fósforo total, também pode ser atestada a migração pendular na região norte de Brasília, o que gera uma variação de contribuintes para a carga do esgoto.

4.1.4 – Nitrogênio Total

A maior parte da contribuição do nitrogênio no esgoto se dá diretamente da excreção

humana, especialmente por sua maior porção ser representada pelo nitrogênio amoniacal e esse ser proveniente principalmente da urina.¹⁵ O gráfico 4 apresentado a seguir trata dos valores de carga de nitrogênio total, que consideram a vazão diária da estação, e foram convertidos a unidade de kg/dia a fim de melhoria na escala.

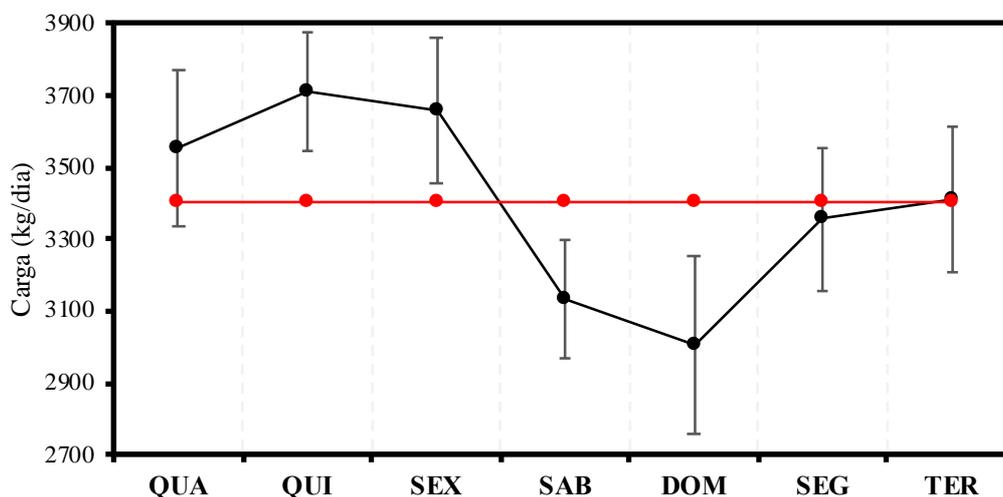


Gráfico 4 - Carga de nitrogênio total recebida pela ETE Brasília Norte durante o período de uma semana, e em vermelho sua média.

Assim como no gráfico 3, o gráfico 4 apresenta uma nítida diferença dos dias de semana (segunda a sexta-feira) e dos dias de final de semana (sábado e domingo). Enquanto a carga apresenta seu ponto de máxima na quinta-feira, se diferenciando sutilmente do fósforo, ainda assim sofre uma brusca queda da sexta-feira para o sábado, que decresce ainda mais no domingo, e por sua vez volta a crescer na segunda-feira. A partir do gráfico de carga de nitrogênio total também pode ser atestada a variabilidade populacional na região norte de Brasília de modo que a circulação de pessoas durante a semana é mais intensificada que nos dias de finais de semana.

Diante do exposto, é evidente a importância do acesso aos dados de parâmetros físico-químicos de esgoto tanto para compreender o modo de vida da população atendida quanto para controle ambiental e epidemiológico da região. Essas informações estão relacionadas com o comportamento de cada localidade de modo a atuar como base de estudos seja no âmbito ambiental ou mesmo geopolítico. No entanto, a fim de se estimar variação de indivíduos, as análises escolhidas para tal devem se enquadrar em determinados critérios.

Para se fazer estimativas da população presente em determinada região via análise de águas residuárias é necessária a investigação de parâmetros que sejam resultado direto da

excreção humana. Um marcador orgânico adequado deve ser capaz de refletir a atividade humana na região em estudo e assim fornecer informações mais apropriadas quanto ao fluxo populacional da área atendida. Para o caso dos parâmetros em estudo, o que melhor se adequa a esses critérios é o nitrogênio amoniacal, considerando que os demais possuem diferentes outras fontes de contribuição para o aumento ou diminuição da sua carga no sistema de esgotamento sanitário.

4.1.5 – Nitrogênio Amoniacal

Como visto na seção 2.2, em águas residuárias a amônia é resultado direto de descargas, podendo ser considerada como um biomarcador. Desse modo, para se realizar o ajuste de população atendida pela ETE, os dados de nitrogênio amoniacal foram utilizados. O gráfico 5 apresentado a seguir trata dos valores de carga de nitrogênio amoniacal, que consideram a vazão diária da estação, e foram convertidos a unidade de kg/dia a fim de melhoria na escala.

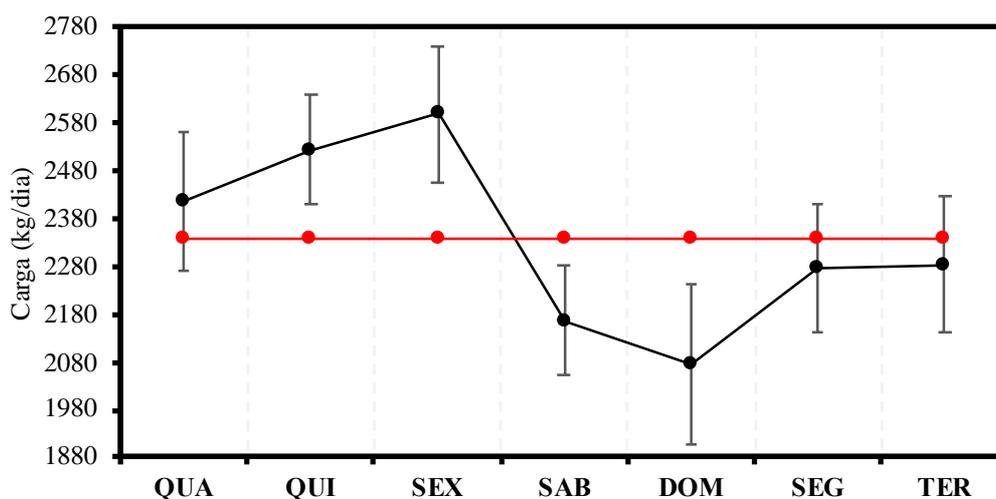


Gráfico 5 - Carga de nitrogênio amoniacal recebida pela ETE Brasília Norte durante o período de uma semana, e em vermelho sua média.

Assim como nos demais resultados já apresentados o gráfico 5 também pode atestar o movimento pendular de população na região atendida. Considerando que seu ponto de máximo se encontra na sexta-feira, os demais dias da semana também se apresentam acima da média de carga ou muito próximas a ela, sendo os dias mais baixos os de início de semana (segunda e terça-feira), enquanto que os dias de finais de semana se apresentam muito abaixo da média.

Desse modo, além das informações qualitativas de variabilidade populacional que os dados de nitrogênio amoniacal reportam, o ajuste de população atendida pela estação também

foi feito a partir dos mesmos. Uma das formas encontradas na literatura para se ajustar população atendida por uma estação com dados obtidos na análise do esgoto é através da relação da quantidade de amônia que cada ser humano gera por dia com quantidade total de amônia recebida por dia na estação, e então pode-se ajustar um fator para encontrar uma população atendida pela ETE.

Um trabalho realizado na Suíça conseguiu determinar esse fator a partir de outras metodologias¹⁶. No entanto, para o estudo de caso do presente trabalho essa relação não se aplicou adequadamente, considerando que os números de população obtidos superavam em mais de 50% os dados oficiais fornecidos pela companhia local. Por se tratar de um estudo em matriz ambiental com elevada complexidade é importante considerar que os fatores físicos, culturais, geológicos e vários outros são diferentes de país para país, desse modo, é compreensível que estudos realizados em países como a Suíça não sejam tão aplicáveis para o Brasil.

Portanto, neste estudo, adotou-se um método alternativo para normalizar a variação populacional, não visto anteriormente na literatura brasileira. O valor médio da carga foi estabelecido como representando 100% da população, e, a partir das variações para cima ou para baixo, dependendo do dia, foi atribuída uma porcentagem correspondente para estimar a população atendida naquele dia. O valor médio, considerado como 100%, foi alinhado com o valor de referência da população atendida pela estação, fornecido pela CAESB, de 212.128 pessoas. Dessa forma, por meio da variação percentual na carga de amônia ao longo dos dias da semana, realizou-se o ajuste na estimativa da população em termos quantitativos. Os dados de ajuste de população com base nesse método estão dispostos na tabela 1 apresentada abaixo.

Data	Dia da semana	Carga de NH₃/NH₄⁺ (kg/dia)	Variação (%)	População atendida (habitantes)
02/08/2023	Quarta-feira	2418,09264	104	219.611
03/08/2023	Quinta-feira	2525,32782	108	229.350
04/08/2023	Sexta-feira	2599,8894	111	236.122
05/08/2023	Sábado	2167,4871	93	196.851
06/08/2023	Domingo	2076,57972	89	188.595
07/08/2023	Segunda-feira	2278,08	98	206.895
08/08/2023	Terça-feira	2284,452	98	207.474
Média		2335,70124	100	212.128

Tabela 1 – População atendida (em habitantes) por dia na ETE Brasília Norte durante o período de uma semana a partir da carga de nitrogênio amoniacal.

A tabela 1 demonstra quantitativamente os dados observados no gráfico 5 bem como o perfil de movimento de população na região norte de Brasília observado nos gráficos de 2 a 4. Desse modo, foi possível tanto observar a migração pendular através da análise do esgoto bem como estimar essa variação de pessoas entre os dias da semana.

4.2 –A normalização do consumo de cocaína

Com base em estudos anteriores, é sabido que a região norte de Brasília concentra o maior consumo *per capita* de cocaína entre todas as regiões do Distrito Federal. Em algumas outras regiões administrativas como Ceilândia, Taguatinga, Águas Claras e Samambaia os valores de concentração de benzoilecgonina no esgoto são muito elevados, mas quando se normaliza esses valores considerando a população referente a essas localidades o consumo por pessoa é inferior ao atestado na região da Asa Norte e zonas próximas.⁴

Os dados apresentados na tabela 2 a seguir são referentes à carga de benzoilecgonina (em g/dia) recebida na ETE Brasília Norte na campanha amostral de 2023, que considera tanto a concentração do metabólito (em µg/L) quanto a vazão média da estação (em L/dia).

Data	Dia da semana	Concentração de benzoilecgonina (µg/L)	Vazão volumétrica da estação (L/dia)	Carga de benzoilecgonina (g/dia)
02/08/2023	Quarta-feira	3,20	51890400	166
03/08/2023	Quinta-feira	3,06	53787600	165
04/08/2023	Sexta-feira	3,70	51894000	192
05/08/2023	Sábado	4,51	45392400	205
06/08/2023	Domingo	5,54	44229600	245
07/08/2023	Segunda-feira	5,01	52070400	261
08/08/2023	Terça-feira	3,51	51336000	180
Média				202

Tabela 2 –Dados para a determinação da carga de benzoilecgonina recebida pela ETE Brasília Norte durante o período de uma semana.

A partir dos dados apresentados na tabela 2 traça-se graficamente o perfil de carga de benzoilecgonina recebida pela estação (gráfico 6).

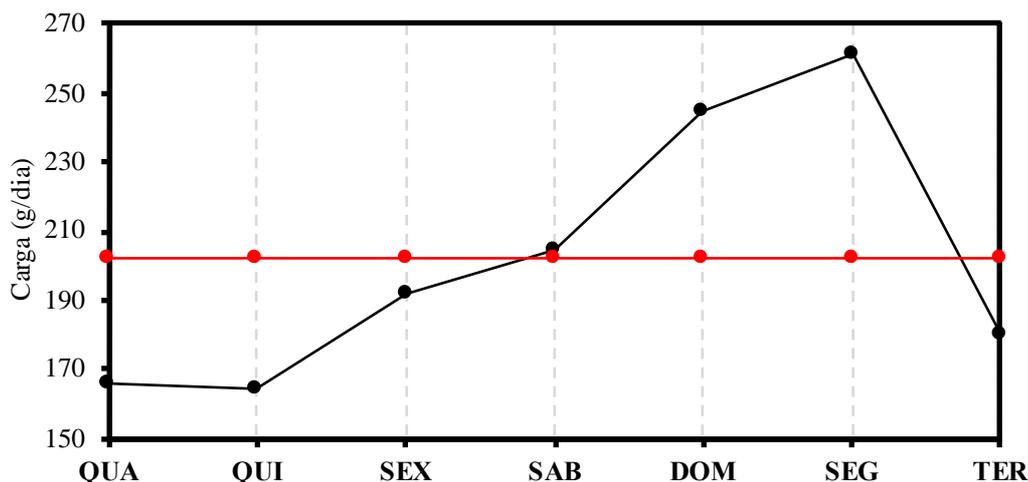


Gráfico 6 - Carga de benzoilecgonina recebida pela ETE Brasília Norte durante o período de uma semana, e em vermelho sua média.

A carga de benzoilecgonina no esgoto diz respeito a quanto do metabólito está sendo descarregado na estação, enquanto os dados não são normalizados através do fator de correção f e da população atendida, não é estimado o consumo por pessoa. É possível notar um crescimento do consumo nos dias referentes ao final de semana, a partir da sexta-feira até o domingo. O pico de descarga é determinado na segunda-feira que poderia ser atribuído ao espaço de tempo entre o consumo em si, a metabolização da droga e a excreção humana. Assim, o consumo de cocaína ainda é atribuído ao uso recreativo considerando que nos dias de semana a carga do metabólito diminui drasticamente.

A partir disso, é possível se estimar o consumo *per capita* de cocaína para que, de fato, o perfil de consumo possa ser traçado. Aplicando a equação 1 com dados de carga de benzoilecgonina, utilizando o fator de correção f igual a 4,19 (específico para a cocaína no Brasil) e a população atendida como fixa de 212.128 habitantes (valor de referência) os dados de consumo *per capita* são gerados, modo esse que já vem sendo empregado em estudos anteriores.

Em contrapartida, aplicar a equação 1 nos dados de carga de benzoilecgonina, utilizando o fator de correção f igual a 4,19 (específico para a cocaína no Brasil) e a população atendida ajustada para a quantidade calculada diariamente (dados apresentados na tabela 1) os dados de consumo *per capita* são gerados de modo a considerar a quantidade de pessoas que estão sendo contribuintes de fato para a carga do esgoto.

A tabela 3 apresentada a seguir expõe os dados referentes a carga de benzoilecgonina (em mg/dia) bem como o consumo de cocaína na região norte de Brasília, nos quais o modelo

intitulado como normalizado considera a população fixa (valor de referência) e o modelo ajustado considera a população atendida diariamente (estimada pela carga de nitrogênio amoniacal – presente na tabela 1).

Data	Dia da semana	Carga de benzoilecgonina (mg/dia)	Modelo normalizado	Modelo ajustado
			C (mg/1000hab/dia)	C (mg/1000hab/dia)
02/08/2023	Quarta-feira	166225,07	3283,3149	3171,4429
03/08/2023	Quinta-feira	164656,18	3252,3260	3008,1092
04/08/2023	Sexta-feira	192213,78	3796,6498	3410,8527
05/08/2023	Sábado	204659,12	4042,4730	4356,2008
06/08/2023	Domingo	245092,71	4841,1265	5445,2160
07/08/2023	Segunda-feira	260981,28	5154,9609	5285,3493
08/08/2023	Terça-feira	180238,22	3560,1059	3639,9730

Tabela 3 – Dados do consumo de cocaína (normalizado e ajustado) na ETE Brasília Norte durante o período de uma semana.

De acordo com os dados apresentados na tabela 3 é notável uma diferença de consumo quando o modelo é ajustado considerando a variação de população que a região norte de Brasília apresenta. Nos dias de quarta, quinta e sexta-feira os valores do modelo normalizado estão superestimados em relação ao modelo ajustado, enquanto que os dias de sábado e domingo estão nitidamente subestimados, os dias de segunda e terça-feira apresentam pouca diferença, mas mesmo assim também poderiam ser considerados subestimados. O gráfico 7 a seguir expressa os dados dispostos na tabela 3.

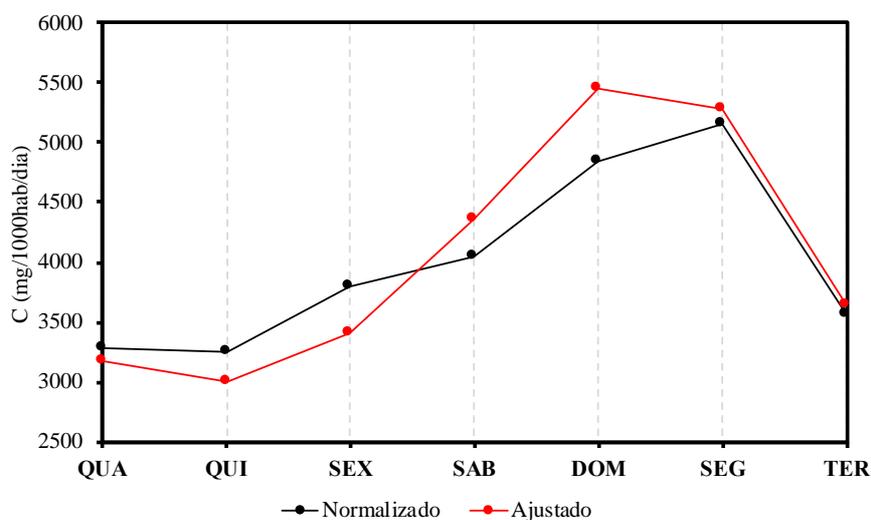


Gráfico 7 – Perfil de consumo de cocaína na região norte de Brasília durante o período de uma semana considerando os modelos normalizado e ajustado.

O modelo ajustado também indica uma alteração de dia de maior consumo de cocaína. No modelo normalizado o dia de máximo consumo era identificado apenas na segunda-feira, enquanto que no modelo ajustado esse dia de máximo passa a ser no domingo. Além disso, considerando o modelo ajustado o consumo de cocaína na região norte de Brasília chega a atingir cerca de 5,5 g por pessoa no seu dia de máximo consumo e possui uma média de consumo de 4 g por pessoa durante a semana.

Como o projeto CLOACINA já investiga o consumo de drogas na região e em outras regiões há anos existe uma base de dados quanto ao consumo de cocaína na região norte de Brasília. Com isso, é importante consultar o perfil histórico de consumo da região para realizar reflexões a cerca do tema a fim de avaliar como se dá a evolução desse consumo ao longo do tempo e buscar possíveis causas para as alterações percebidas.

Os perfis de consumo de cocaína na região norte de Brasília em 2012 e 2017⁴ expressam um aumento de consumo da cocaína nos dias de final de semana em relação aos dias de semana, de modo que o dia de máximo consumo, seja em qualquer um dos anos, se dá no sábado ou no domingo, tendo a cocaína associada ao uso recreativo desde a época. Além disso, os dados se apresentam também em escala de consumo *per capita*, assim, e a quantidade máxima de consumo que se chegava era de, aproximadamente, 3,6 g. Ao se comparar esse dado com os dados do gráfico 7 pode-se perceber um aumento de 50% no consumo *per capita* de cocaína na região norte de Brasília entre os anos 2017 e 2023.

O aumento em 50% do consumo de cocaína na região norte de Brasília gera preocupação entre as autoridades considerando o impacto negativo que esse aumento gera nos sistemas de saúde e segurança pública bem como nas dinâmicas de convívio e bem-estar social como um todo. Desse modo, é importante buscar entender possíveis causas desse aumento de consumo de cocaína para que os planos de ação das políticas públicas de combate ao tráfico e atendimento aos toxicômanos sejam eficazes, agindo nos principais fundamentos do problema.

De acordo com o escritório de Drogas e Crime das Nações Unidas, com o passar dos anos o aumento gradativo no consumo de drogas é explicado por diversos fatores. Algumas das principais causas para esse aumento se dá pelo aumento da população mundial como um todo, bem como da população jovem em países subdesenvolvidos. Além disso, o mercado de drogas possui uma logística própria, que se adapta facilmente aos avanços tecnológicos dos sistemas de segurança e conta com uma estrutura mundial consolidada, possuindo rápida capacidade de recuperação mesmo diante de novas situações, como o isolamento social causado pela pandemia da COVID-19.¹⁷

Além das causas já esperadas pelas autoridades para o aumento no consumo de drogas, a própria pandemia em si foi um novo fator que levou ao aumento no número de usuários. De acordo com a Confederação Nacional de Municípios, em 2020 “os hospitais credenciados pelo Sistema Único de Saúde (SUS) tiveram um aumento de 54% de atendimento de dependentes químicos, comparado a 2019”¹⁸ esse aumento considerável durante o período da pandemia não pode ser atribuído ao acaso, de modo que as medidas de proteção e combate ao vírus geraram inúmeros impactos sociais, econômicos e principalmente de saúde pública.

Durante o período de isolamento social os grupos de dependentes químicos que já realizavam algum tratamento, individual ou em grupo, foram diretamente afetados levando possivelmente até mesmo a interrupção do tratamento.¹⁷ Além disso, o impacto social e econômico da pandemia levou consequências drásticas e diretas a grupos sociais menos favorecidos e potencialmente mais frágeis como o aumento da desigualdade social e da população em situação de rua.

Um outro fator associado a todo esse cenário é o das condições de saúde mental que mediante o período de incerteza e precariedade que foi a pandemia se tornou uma questão urgente de modo global, fazendo com que possivelmente, mais indivíduos recorressem ao consumo de drogas. Sabendo que a cocaína se trata de um estimulante com elevado potencial de dependência química o aumento de consumo mesmo nos anos principais da pandemia (2020 e 2021) ainda geram impactos no consumo dos dias atuais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho evidenciam a pluralidade de estudos através da epidemiologia baseada no esgoto. Acessar informações do modo de vida diário de uma população local via parâmetros físico-químicos, mostra não apenas a capacidade da EBE de atuar em tempo real, como também da importância do monitoramento desses parâmetros. A obtenção de dados de análises que refletem a atividade humana da região como DQO, DBO, fósforo e nitrogênio, bem como de biomarcadores que estejam em elevadas concentrações em águas residuárias, como o nitrogênio amoniacal, viabiliza a estimativa da real população atendida.

Como os resultados de consumo de drogas *per capita* consideram não apenas a vazão afluente da estação como também a população atendida pela mesma, o refinamento da estratégia deve ser sempre buscado. Investigar o número real de pessoas atendidas diariamente pela ETE Brasília Norte, considerando a variabilidade populacional que a região apresenta nos diferentes dias de semana, permite que os dados normalizados do consumo de cocaína sejam ajustados e um melhor perfil de consumo de drogas de abuso seja traçado.

O ajuste das informações quantitativas do consumo de cocaína via EBE deve ser feito para que os planos de ação na redução da oferta e demanda de drogas sejam corretamente traçados e regiões que apresentam resultados mais preocupantes sejam priorizadas. Além disso, o potencial de aprimoramento desses dados com o uso de métodos aplicados rotineiramente pelas companhias de saneamento ambiental, otimiza e viabiliza diversos estudos que consideram a população que contribui efetivamente para a carga de esgoto.

Mesmo diante de resultados satisfatórios a partir das metodologias aplicadas, o estudo apresentado pelo trabalho apresenta também suas limitações. Os dados de vazão fornecidos pela companhia e usados em todas as etapas contribuíram significativamente para o aumento de algumas estimativas de erro considerando o sistema de equalização empregado pela estação e a posição na qual o medidor de vazão se encontra, gerando uma alta variação de volume medido. Ademais, o presente trabalho realizou estimativas com base em dados fornecidos oficialmente pela companhia e não na busca de valores reais, fundamentados exclusivamente nos resultados gerados a partir da análise do esgoto.

Desse modo, é possível que abordagens ainda mais exatas sejam capazes de trabalhar nas mesmas ideias. Avaliar concentrações de biomarcadores endógenos, suas taxas de metabolização, carga dos mesmos no esgoto e relacionar com valores oficiais de censos pode fornecer não apenas estimativas da população como determinar seus valores de forma mais

fidedigna. Paralelamente, investir no aprimoramento do monitoramento das estações via parâmetros físico-químicos através da implementação de novas metodologias ou mesmo melhorias nos métodos já empregados, bem como na automação das ETE's.

É nítida a necessidade de se mapear a oferta e demanda de drogas de abuso de modo que o combate ao mercado ilegal seja eficiente. Desse modo, a EBE é uma estratégia eficiente não apenas para reporte desse tipo de demanda, mas como suporte de estudo para diversos fenômenos modernos de modo a evidenciar a gama de possibilidades de exploração na matriz de esgoto. Diante dessa pluralidade de abordagens, a EBE pode ser estudada a partir de diferentes metodologias, sejam elas traçadas em sequências analíticas complexas ou mesmo de forma clássica.

Portanto, o presente trabalho cumpriu seu objetivo de associar o perfil de consumo de drogas de abuso com a variação populacional na região atendida pela ETE Brasília Norte para refinar as estimativas de consumo *per capita* considerando o fluxo populacional. É importante salientar as contribuições da química analítica para reflexões e impactos sociais gerados, de modo que a política do combate às drogas esteja sempre visando a melhoria na qualidade de vida, bem como nas políticas públicas de saúde, segurança e bem-estar social.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Avelino, Victor Pereira. A evolução do consumo de drogas: Aspectos históricos, axiológicos e legislativos. 2010. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/14469>.
2. Governo Federal (Brasil). Ministério da Justiça e Segurança Pública. A Política Nacional Sobre Drogas. 23 fev. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-protecao/politicas-sobre-drogas/a-politica-nacional-sobre-drogas>.
3. Presidência da República. Decreto nº 9.761, de 11 de abril de 2019. Aprova a Política Nacional sobre Drogas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9761.htm.
4. Sodré, Fernando Fabríz, *et al.* Epidemiologia Baseada no Esgoto para estimar o uso de drogas: Contribuições da Química Analítica para a Sociedade. *In: PANIAGUA, Cleiseano Emanuel da Silva, et al.* O ensino e a pesquisa em Química. Vol.3, 2021. cap. 15, p. 178-199.
5. Moura R., Castello Branco MLG, Firkowski OLC de F. Movimento pendular e perspectivas de pesquisas em aglomerados urbanos. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000400008>.
6. Arrais, Tadeu; Pinto, José. Integrar para segregar: uma análise comparativa do tecido urbano-regional de Goiânia e Brasília. Dez anos de mudanças no Mundo, na Geografia e nas Ciências Sociais, 1999-2008. Anais do X Colóquio Internacional de Geocrítica, Universidade de Barcelona. 2008. Disponível em: <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/307.htm>.
7. Michalake, Audrey Elis; Rosa da Silva, Cristiane; Fonseca da Silva, Frederico. Análise dos parâmetros físico-químicos do esgoto tratado de Curitiba (PR) - Estação Belém. *Ciência e Natura*. 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547716044>.
8. FERNANDES, Patrícia Cristina Lopes. Validação e Controlo de Qualidade do Fósforo Total em Águas Residuais Análise da Qualidade da Água. Universidade da Beira Interior, Portugal, 2015. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/6072/1/4188_8215.pdf.
9. Reis JAT dos, Mendonça ASF. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000300009>.
10. Zoppas, F. M.; Bernardes, A. M.; Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100134682>.
11. Grolli, Vinícius Gabriel. Metodologia analítica para a identificação do heptacloro. 2013. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15437>.

12. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 24th ed – 5210D. Washington DC: APHA Press; 2023.
13. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 24th ed – 4500-P.B 5; 4500-P D. Washington DC: APHA Press; 2023.
14. Terra, Vinícius do Carmo. Avaliação da eficiência da biorremediação na redução da carga orgânica de estações de tratamento de esgoto: o caso da ETE Neblina em Araguaína/TO. 2016. Disponível em: <https://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/332>.
15. Mota, Francisco Suetônio Bastos, *et al.* Nutrientes de esgoto sanitários: utilização e remoção. *In: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico*, edital 5. 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_2.pdf
16. Been, Frederic, *et al.* Population Normalization with Ammonium in Wastewater-Based Epidemiology: Application on Illicit Drug Monitoring. 2014. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/es5008388>
17. Escritório de Drogas e Crime das Nações Unidas – Escritório de Ligação e Parceria no Brasil. Relatório Mundial sobre Drogas 2021 avalia que pandemia potencializou riscos de dependência. 2021. Disponível em: https://www.unodc.org/lpo-brazil/pt/frontpage/2021/06/relatorio-mundial-sobre-drogas-2021-do-unodc_-os-efeitos-da-pandemia-aumentam-os-riscos-das-drogas--enquanto-os-jovens-subestimam-os-perigos-da-maconha-aponta-relatorio.html
18. Confederação Nacional de Municípios: Saúde. Na pandemia, atendimento de dependentes químicos aumentou 54%. 2021. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/na-pandemia-da-covid-19-atendimento-de-dependentes-quimicos-teve-aumento-de-54>