

**AMOSTRAS BIOLÓGICAS USADAS NA DETECÇÃO DO
DOPING QUÍMICO E MATRIZES ALTERNATIVAS: UM
ESTUDO COMPARATIVO**

**BIOLOGICAL SAMPLES EMPLOYED IN THE DETECTION OF
CHEMICAL DOPING AND ALTERNATIVE MATRICES: A
COMPARATIVE STUDY**

**Adriana Natal Martins
Maiara Voltarelli Providello**

Recebido em 18 de abril, 2023 aceito em 13 de junho, 2023

Registro DOI: <http://dx.doi.org/10.22280/revintervol16ed2.541>



RESUMO

O uso de substâncias ergogênicas, aquelas com a propriedade de alterar o rendimento físico de um indivíduo, já é antiga, visto que o homem sempre teve dificuldades em aceitar suas limitações físicas e mentais. Nas competições esportivas, novas técnicas e produtos químicos vêm sendo utilizados por atletas, o que coloca à prova as técnicas analíticas empregadas na detecção da dopagem. Com isso, a busca pelo aprimoramento no controle do doping torna-se essencial para a comunidade esportiva, visando tornar as competições mais igualitárias. Essa revisão bibliográfica objetivou analisar as amostras atualmente empregadas na detecção do doping e compará-las com matrizes alternativas que vêm sendo estudadas, apontando as vantagens e desvantagens de cada uma delas. Os resultados obtidos demonstram que as amostras "alternativas" (cabelo/pelos, saliva e ar exalado) podem aprimorar as análises realizadas em amostras de sangue e urina, consideradas o "padrão-ouro" na atualidade. Apresentando algumas vantagens frente a essas amostras, as matrizes alternativas poderiam sanar algumas deficiências analíticas apresentadas. A constante ascensão dos métodos ergogênicos, exige que o controle do doping também esteja em constante aprimoramento. A fim de cumprir a legislação esportiva, as técnicas analíticas podem encontrar avanço ao se utilizar novas amostras biológicas.

Palavras-chave: Amostras Biológicas. Doping. Doping Biológico. Matrizes Alternativas. Toxicologia.

ABSTRACT

The use of ergogenic substances, those have the property of altering the physical performance, is old, since man has always had difficulties in accepting his physical and mental limitations. In the context of sports competitions, new techniques and chemical products have been used by athletes, which challenge the analytical techniques currently employed in chemical doping tests. In this sense, the search for improvement in the doping control becomes essential for the sports community that aims to make competitions more egalitarian. Our aim was to analyze the samples currently used in the detection of doping and compare them with alternative matrices that have been studied, highlighting the advantages and disadvantages of each one. The results demonstrated that "alternative" samples (hair/body hair, saliva and exhaled air) could improve the analyzes performed on blood and urine samples, considered currently the gold-standard. With some advantages, the alternative matrices could complement and solve some analytical biases. The constant rise of ergogenic methods requires that doping control is also in constant improvement. In order to comply with sports legislation, analytical techniques can find advancement when using new biological samples.

Keywords: Alternative matrices. Biological Samples. Chemical Doping. Doping. Toxicology.



1 INTRODUÇÃO

1.1 Breve histórico sobre o doping

O desempenho físico teve início na antiguidade com a intenção de festejar rituais religiosos, vitória das guerras, bem como preparar os atletas para competições (JUNIOR, 2015).

O uso de substâncias ergogênicas, aquelas com intuito de aumentar a capacidade ou performance de um indivíduo, já é antiga. Levando em conta que o homem sempre possuiu dificuldades em aceitar os limites físicos e mentais de seu corpo, a procura de fórmulas mágicas e opções para ultrapassar esses limites é vista há muito tempo (JUNIOR, 2015).

O desejo de ultrapassar os limites impostos à espécie humana é relatado, inclusive, na história bíblica quando Eva ofereceu a Adão uma maçã que era considerada o fruto da árvore proibida. Adão seguiu o conselho da serpente aceitando o fruto por achar que ao comê-lo se tornaria mais poderoso que o próprio Deus (MANTOVANI *et al.*, 2017).

Doping é o termo internacionalmente usado no meio esportivo que indica a administração de substâncias proibidas com o objetivo de melhorar a performance e o rendimento. O termo que deu origem à palavra *doping* foi o "dop", estimulante utilizado em festas religiosas (TAVARES apud CARDOSO, 2021).

O termo *doping*, originário da cultura sul-africana, referia-se ao uso de substâncias em rituais religiosos e preparo de batalhas, foi utilizado inicialmente para designar o uso de produtos químicos para melhoria de desempenho em cavalos, sendo posteriormente estendido aos esportes (JUNIOR, 2015).

No esporte, acredita-se que os atletas olímpicos da Grécia antiga tenham sido os primeiros a utilizarem produtos químicos para melhora do desempenho físico, fazendo uso de chá de ervas, cogumelos e testículos de touro (CAMILO; FURTADO, 2017).

Na Alemanha nazista foram desenvolvidos diversos tipos de produtos que afetavam o desempenho físico, como a anfetamina e os esteroides anabolizantes,



que eram aplicados aos soldados para que estes tivessem um melhor rendimento nas batalhas, aumentando sua força de combate. Relata-se, inclusive, que durante as Olimpíadas de 1936 em Berlim este tipo de substância tenha sido administrado aos atletas alemães para garantir a vitória, tendo assim a prática do *doping* migrado para os esportes de alto rendimento (JUNIOR, 2015).

No pós-guerra, a popularização do uso dessas substâncias, não só pela Alemanha, mas também por outros países levou a comissão médica do Comitê Olímpico Internacional (COI) a formular um documento listando os produtos químicos de uso proibido nas competições esportivas. O ano era 1967 e no ano seguinte instituiu-se o teste anti-*doping* durante os Jogos Olímpicos do México e atualmente a testagem tem sido feita de forma regular nas competições (TAVARES, 2002).

Em uma definição mais atual, segundo Olah e Santos (2021), o *doping* é utilizado por muitos atletas para ter como resultado a melhora no rendimento, podendo ser empregado com métodos ou substâncias químicas e pode ser dividido em: (I) *Doping* químico, que consiste na utilização de produtos químicos lícitos ou não, mas que não são permitidos pelo COI; (II) *Doping* natural, que é um método onde o atleta, através de treinamentos físicos específicos, ou até mesmo por características inatas individuais pode ter uma melhoria na performance; e o (III) *Doping* genético que é aquele onde o atleta é submetido a técnicas moleculares avançadas envolvendo a manipulação do material genético .

O *doping* é uma prática considerada como antiética e proibida mundialmente, pois o atleta pode obter um resultado superior a outros competidores, no entanto, de maneira desleal. Além disso, a prática pode oferecer riscos à saúde, considerando que, grande parte dos competidores utilizam de forma abusiva, por vezes por conta própria sem antes solicitar um profissional que acompanhe seu estado de saúde, podendo trazer sérios riscos para a sua integridade física e levar até mesmo a morte (OLAH E SANTOS, 2021).

Segundo Unal (2004), a proibição do *doping* tem como foco principal a saúde, pois nenhuma técnica ou substância pode ser considerada livre de riscos. Ainda assim, mesmo com a proibição de alguns desses métodos e/ou substâncias, os



esportistas têm acesso a eles de uma forma escusa e que, por vezes não possuem fiscalização dos órgãos de saúde, colocando em risco a própria vida.

Deste modo, considerando os aspectos que colocam em risco a integridade física dos competidores e que tornam as competições esportivas menos justas, o controle do *doping* faz-se imprescindível.

1.2 Um enfoque no *doping* químico

A história do *doping* químico evoluiu juntamente com o desenvolvimento da civilização e da ciência moderna. Inicialmente, a prática era caracterizada pela simplicidade, uma vez que, configurava-se pelo uso de produtos químicos puros como: cocaína, heroína, cafeína e álcool e por apresentarem efeitos rápidos e de curta duração. Estes produtos eram então tomados em "momentos-chave" como, por exemplo, no início de uma competição com o objetivo de melhorar a performance (TRIVIÑO, 2014).

Neste período, o uso de folhas de coca e outros alcaloides era considerado permitido, sendo que o principal efeito era a diminuição da fadiga e o cansaço. Os ciclistas no século XIX, faziam consumo de um composto químico denominado "speedball", uma mistura de heroína e cocaína, que tinha um efeito similar ao dos alucinógenos naturais, tirados da natureza pelos gregos. Foi no início do século XIX, na era do amadorismo, que surgiu o termo *doping* em atribuição aos efeitos narcóticos de algumas bebidas, porém, já no século XX, o termo passou a ser utilizado como menção ao aperfeiçoamento do desempenho físico, ainda que inicialmente se referisse ao aperfeiçoamento de cavalos de raça (TRIVIÑO, 2014).

O primeiro caso documentado de *doping* químico em uma competição esportiva foi o do maratonista Thomas Hicks nos Jogos Olímpicos de *St. Louis* de 1904. É documentado que o atleta haveria recebido durante a prova doses de álcool e injeções de estricnina, um alcaloide derivado de uma planta, que atua como estimulante em baixas doses (TRIVINO, 2014). Após cruzar a linha de chegada e vencer a maratona, o atleta caiu no chão e precisou ser reanimado pelos médicos, mas garantiu sua medalha de ouro (ALMEIDA *et al.*, 2016).



Nos anos seguintes, as associações esportivas internacionais exprimiram o que ficou conhecido como “estado *doping*”, pela grande rivalidade entre os países capitalistas e comunistas. Os casos mais famosos aconteceram na República Democrática Alemã, porém o que se sabe é que a prática do *doping* durante esta década não ficou restrita aos países orientais. Foi ainda relatado ao final da Guerra Fria que vários países do leste Europeu haviam realizado *doping* sistemático para provar para o mundo a superioridade do regime comunista, entretanto, as reações do *doping* sistemático na saúde eram destrutivas como: suicídio, lesões e doenças crônicas (TRIVIÑO, 2014).

Inicialmente, o foco do *doping* químico era o desempenho fisiológico, contudo, com o avançar da ciência e o desenvolvimento de métodos mais sofisticados, a intervenção pode ser também hoje, cognitiva e emocional (OLAH; SANTOS, 2021).

1.3 Legislação e controle de dopagem

De acordo com a Autoridade Brasileira de Controle de Dopagem (ABCD) (ABCD, 2021), o controle do *doping* é dividido em 7 fases. A primeira é o planejamento, que envolve a estratégia empregada na seleção dos atletas, essa etapa é regulada por diversos órgãos nacionais e internacionais. Na segunda fase é feita a seleção dos atletas, onde os controles podem acontecer tanto dentro da competição, como também fora dela. No controle fora da competição é feito um sorteio onde o atleta pode ser selecionado sem aviso prévio. No controle em competição, o atleta é selecionado por sorteio, levando em conta a base da classificação dele ou através de um outro critério específico.

Na terceira fase, o atleta selecionado é então notificado por um agente de controle e este passará a acompanhá-lo até que seja fornecido a amostra para o exame; seguido da quarta fase, onde é realizada a coleta das amostras. A amostra mais comum empregada é a urina, onde o protocolo esportivo determina que se realize a coleta assistida, ou seja acompanhada de uma agente do mesmo sexo, afim de se evitar fraudes. Além da urina, amostras de sangue também podem ser coletadas.



Após realizada a coleta da amostra, o DCO (*Doping Control Officer*- em português Escritório de Controle de *Doping*) registra todos os detalhes da coleta da amostra em formulário próprio, pedindo ao atleta que revele, caso tenha feito uso de algum medicamento ou suplemento, nos últimos sete dias. Feito isso, quando o formulário estiver preenchido o atleta confere todas as informações e se estiver de acordo, assina o formulário.

Na quinta fase é feito o transporte das amostras, onde são enviadas sob cadeia de custódia, se tratando de um procedimento muito rigoroso, para que traga segurança e manutenção do material coletado, para que seja então enviado para o laboratório de controle de antidopagem.

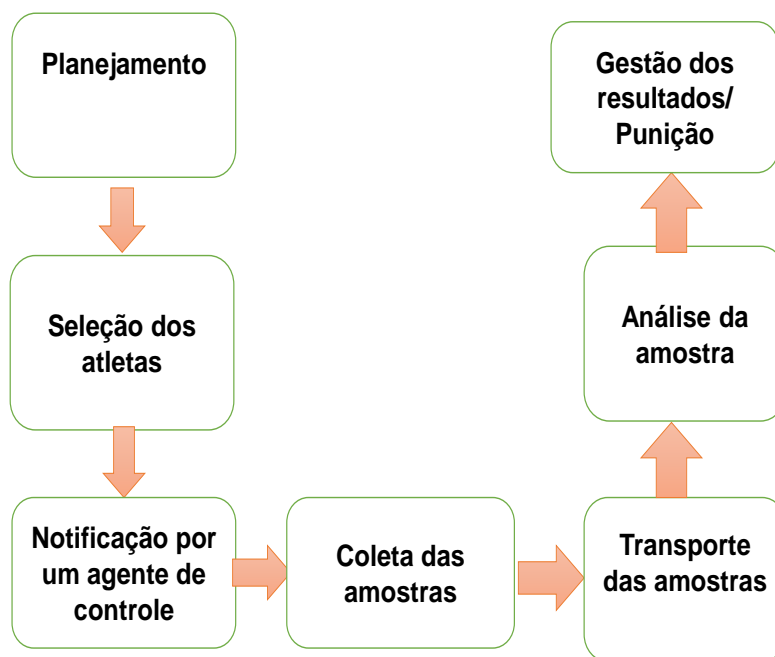
Na sexta fase é realizada a análise da amostra que é subdividida em duas frações: A e B. A amostra A é analisada de imediato, enquanto a amostra B é armazenada. Se a amostra A apresentar um resultado positivo para dopagem, a ABCD será informada e o profissional responsável irá decidir se vai ou não pedir a análise da amostra B para que seja contestado o resultado oficial.

Por fim, na sétima fase é feita a gestão dos resultados, onde todo atleta que comete uma Violação às Regras Antidopagem pode sofrer as punições previstas no Código Mundial Antidopagem.

As etapas do controle de dopagem foram representadas no fluxograma abaixo (Figura 1).



Figura 1. Fluxograma de análise do doping químico de acordo com a Associação Brasileira de Controle do Doping (ABCD).



Fonte: Autoria própria.

A ABCD segue a lista de proibições que é atualizada anualmente pela Agência Mundial Antidoping (em inglês, WADA-World Anti-Doping Agency). As primeiras substâncias farmacológicas a serem proibidas apontadas pelo COI foram os estimulantes psicomotores e do sistema nervoso central, como também os narcóticos, analgésicos e, pouco antes dos Jogos Olímpicos em Montreal em 1975, foram incluídos à lista os anabólicos esteróides. Atualmente, a lista conta ainda com broncodilatadores, substâncias estimulantes como canabinóides, glicocorticosteróides e diuréticos. Em esportes específicos, álcool e medicamentos antiarrítmicos e anti-hipertensores compõem a listagem (CASTANHO *et al.*, 2014).

Algumas dessas substâncias são proibidas inclusive fora do período de competições, são elas: agentes anabolizantes, eritropoietinas ou agentes que



estimulem a eritropoiese, broncodilatadores, suplementação hormonal, moduladores metabólicos, diuréticos e agentes estimulantes.

Os métodos proibidos em competições esportivas na atualidade incluem transfusões sanguíneas, manipulação química (por exemplo, infusões intravenosas) e física (adulterações amostrais) e o uso de anestésicos locais (TEIXEIRA, 2019).

1.4 Técnicas e amostras atualmente empregadas na detecção do doping

Como previamente citado, as amostras de sangue e urina são consideradas “padrão-ouro” pelo COI atualmente e, na grande maioria das vezes, é solicitado ao atleta que forneça ambas as amostras. Essas amostras caracterizam-se por não apresentar coleta invasiva, serem fáceis de serem obtidas e oferecendo volumes satisfatórios para as análises (THEVIS *et al.*, 2016).

Em geral, é conduzida uma mesma análise nas duas amostras (sangue e urina), ou ainda, emprega-se duas técnicas distintas de detecção num mesmo material biológico. Dentre os testes mais usuais, destacam-se os imunoensaios e as técnicas eletroforéticas e cromatográficas, ensaios que permitem uma ampla cobertura analítica das substâncias (PEREIRA *et al.*, 2008; WORLD ANTI DOPING AGENCY, 2009 apud BAIRROS *et al.*, 2011).

A análise deve ser conduzida por um laboratório habilitado pela Wada sendo que no Brasil, os testes são realizados pelo Laboratório Brasileiro de Controle de Dopagem (LBCD), localizado na cidade do Rio de Janeiro e é o único laboratório que tem autorização para realizar os testes em toda a América do Sul. Quem determina os testes para o controle do doping é a ABCD.

No entanto, é sabido que algumas substâncias podem não ser facilmente detectadas na urina, como fatores de crescimento e alguns hormônios. Além disso, na urina comumente detecta-se os metabólitos de excreção, ou seja, produtos que já foram metabolizados e que, por vezes, não permitem estabelecer uma relação confiável à real dose usada pelo atleta. Com isso, para substâncias que apresentam um limite tolerável de uso, essa análise torna-se inadequada (BIDLINGMAIER *et al.*, 2003).



Já nas amostras de sangue (soro ou plasma) essa correlação da dose utilizada, não parece constituir um problema, no entanto, a maior dificuldade relatada para esse tipo de amostra seria o fato de algumas substâncias apresentarem baixo tempo de meia-vida, ou seja, permanecerem por pouco tempo no organismo até serem excretadas. Com isso, o uso retroativo poderia não ser detectado (THEVIS *et al.*, 2016).

Considerando os aspectos positivos e negativos das amostras atualmente empregadas na detecção da dopagem, vêm crescendo o número de estudos avaliando outros espécimes biológicos que poderiam ser utilizados. Este estudo previu, portanto, realizar uma revisão bibliográfica e comparar as novas possibilidades analíticas, comparando-as com as amostras que são usadas na atualidade.

2 METODOLOGIA

O presente estudo constitui-se de uma revisão bibliográfica, conduzida no período de agosto de 2021 a outubro de 2022. Para a seleção de artigos foram utilizadas as seguintes bases de dados: *Scielo*, *Google acadêmico* e *Pubmed* e foram empregadas as seguintes palavras-chave: *Amostras*; *Atletas*; *Doping*; *Doping químico*; *Matrizes alternativas*. A busca de trabalhos referentes ao objeto de estudo considerou artigos publicados nos últimos 20 anos.

3 RESULTADOS

Considerando o amplo espectro de medicamentos, suplementos e outras substâncias químicas voltadas para a melhoria de desempenho, cresce as demandas por aperfeiçoamento nas técnicas analíticas ou alternativas para complementar e/ou substituir as estratégias convencionais de controle de doping. Sangue e urina são as amostras atualmente empregadas, apresentando muitos aspectos positivos nessas análises, o que as torna hoje o "padrão-ouro" no controle do doping esportivo.



As principais vantagens e desvantagens no uso dessas amostras biológicas afim de cumprir as análises toxicológicas que fazem parte da legislação esportiva foram demonstradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Levantamento das principais vantagens e desvantagens no emprego de sangue e urina no controle de dopagem.

	Vantagens	Desvantagens
Sangue	<ul style="list-style-type: none"> - É de coleta rápida e pouco invasiva; - Obtêm-se volume adequado de amostra; - Fornece de forma apropriada dados sobre a dose usada pelo atleta; - Permite estabelecer o tempo decorrido desde a administração da substância ao estabelecer uma relação entre a concentração inalterada e seu(s) metabólito(s); - Possui um amplo espectro de detecção; 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinadas substâncias podem não ser detectadas no sangue dentro de algumas horas; - Apresenta alto custo com transporte e armazenamento. - Possui estabilidade amostral moderada.
Urina	<ul style="list-style-type: none"> - É de coleta fácil e não invasiva; - Obtêm-se grandes volumes de amostra o que facilita a aplicação de técnicas analíticas e a realização de contraprovas; - Possui caráter estável, permitindo o armazenamento da amostra em longo prazo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Existem substâncias proibidas pelo COI que podem não ser detectadas nesse tipo de amostra; - Apresenta risco de fraudes pela diluição da urina, através do consumo de líquidos em excesso antes da coleta, da adulteração por adição de produtos químicos e também pela substituição por amostra negativa; - A coleta assistida pode ser desagradável tanto para o doador quanto para profissional da coleta; - Existem variáveis individuais de difícil controle, como a taxa de filtração glomerular e grande parte das substâncias estão presentes na urina por um tempo de 2 a 5 dias após o uso, portanto, é detectado somente o uso recente delas; - A dosagem de metabólitos na urina, por vezes, não permite estabelecer uma relação confiável entre a dose usada e a dose excretada.

Fonte: Forster; Yonamine (2018); Mozaner (2015); Tsanaclis (2011).



No presente estudo, além das amostras atualmente empregadas, foi também avaliado as características de matrizes alternativas que vêm sendo testadas nos testes *anti-doping* como uma alternativa de complementar e/ou aperfeiçoar as análises atuais.

SANGUE

A amostra de sangue é muito utilizada no controle do *doping*, onde suas principais vantagens são a obtenção de volume adequado de amostra; rapidez e moderada invasividade na coleta; além de fornecer de forma apropriada a prova da concentração da droga.

O estabelecimento da correlação entre a dose usada *versus* o seu metabólito pode ser muito eficiente para mostrar o tempo transcorrido desde a administração (MOZANER, 2015).

No entanto, as principais desvantagens no empregado do sangue nas análises de dopagem incluem: o fato de que para algumas substâncias, dentro de algumas horas, já não é possível realizar a detecção; além disso, apresenta um alto custo com transporte e armazenamento (TSANACLIS *et al.*, 2011) e sua estabilidade pode ser inferior se comparado a outras amostras biológicas (THEVIS *et al.*, 2016).

URINA

A urina possui a vantagem de obter-se um grande volume de amostra em uma única coleta, o que facilita o emprego das técnicas analíticas e constitui-se também de uma coleta não invasiva.

A amostra apresenta alta estabilidade, o que permite o armazenamento a longo prazo (TSANACLIS *et al.*, 2011). Em relação a retrospectividade, ou seja, a capacidade da amostra detectar o uso de uma substância em período anterior à análise é alta se comparado ao sangue, sendo que grande parte das substâncias estão presentes na urina por um tempo de 2 a 5 dias após o uso (THEVIS *et al.*, 2016).

No entanto, possui como desvantagens o fato de algumas substâncias proibidas pelo COI não conseguirem ser detectadas nesse tipo de amostra; e ainda há pouca correlação entre a dose usada e a dose excretada, o que torna-se um fator limitante para aquelas substâncias nas quais existe um limite permitido de uso



(FORSTER; YONAMINE, 2018). Ainda, a coleta pode exigir mais tempo, por conta da desidratação após o exercício físico.

O risco de fraude nessa amostra é alto, pois a diluição da urina pelo consumo excessivo de líquidos antes da coleta pode ser realizada pelos atletas. Existe também a possibilidade de adulteração por adição de produtos químicos e a substituição por amostra negativa. No entanto, alguns desses vieses podem

ser evitados pela coleta assistida, modalidade onde um profissional (do mesmo sexo) que conduzirá a análise acompanha o atleta para garantir a autenticidade da amostra, porém essa modalidade pode gerar desconforto para ambos (TSANACLIS *et al.*, 2011).

A urina exige também um transporte e armazenamento adequados, o que pode encarecer a análise.

A taxa de metabolização hepática, bem como a capacidade de filtração glomerular individual tem indução na capacidade de detecção das substâncias e constitui um fator de difícil controle, já que deriva do metabolismo de cada atleta (FORSTER; YONAMINE, 2018).

CABELO E PELOS

O cabelo e pelos corporais não são atualmente empregados nas análises *anti-doping*, no entanto, existem inúmeros estudos avaliando essas matrizes biológicas como candidatas a integrar as amostras a serem usadas no futuro.

Dentre suas vantagens a principal delas é a altíssima retrospectividade. Muitas substâncias podem ser armazenadas nos fios por períodos que vão de semanas a meses (TSANACLIS *et al.*, 2011).

Essas amostras possuem baixa invasividade na hora da coleta, custo moderado, são estáveis e seu armazenamento e transporte são simples podendo ser enviados inclusive, pelos correios (FORSTER; YONAMINE, 2018).

Por outro lado, o volume amostral obtido pode não ser adequado e seu espectro de detecção é mais baixo se comparado ao sangue e a urina (THEVIS, 2016).



Não existem atualmente muitas técnicas analíticas padronizadas para esse tipo de amostra, e apesar de parecer eficaz, o cabelo pode apresentar um longo tempo de

análise, em torno de dois a dez dias, pois requer preparo amostral antes da condução das análises.

Ainda, o uso de cosméticos e tinturas no cabelo podem interferir nos resultados (TSANACLIS *et al.*, 2011).

SALIVA

A saliva, assim como o cabelo e pêlos, não faz parte das amostras empregadas atualmente no controle de dopagem. Alguns estudos testando essa amostra mostraram que suas principais vantagens estariam na sua baixa invasividade, rapidez na coleta e curto período de análise.

Em princípio, as substâncias e seus metabólitos atingem a saliva por difusão passiva, salvo um pequeno número de substâncias com alto peso molecular, sendo assim, a saliva se destaca pelo amplo espectro de detecção, incluindo alguns esteroides endógenos e hormônios peptídicos, constituindo-se uma vantagem em relação ao sangue e a urina, onde a detecção de hormônios apresenta limitações (FORSTER; YONAMINE, 2018).

No entanto, suas principais desvantagens estão na quantidade de amostra obtida e no fato do volume coletado não ser exatamente identificado na hora da coleta. Para a obtenção desse tipo de amostra usa-se kits que possuem uma solução tampão e seu transporte exige cuidados para a manutenção do pH, o que encarece a coleta. (TSANACLIS *et al.*, 2011).

AR EXALADO

O ar exalado, uma amostra não empregada nos testes *anti-doping* atuais, apresenta algumas características importantes que fazem dele um forte candidato: a baixa invasividade e seu curto tempo de análise, por exemplo (FORSTER; YONAMINE, 2018).

No entanto, por se tratar de uma amostra pouco usual, ainda se tem poucas informações sobre sua estabilidade. Sabe-se que o volume amostral é baixo e esse



tipo de amostra serviria apenas para a detecção de compostos voláteis (THEVIS *et al.*, 2016). Porém, muitos metabólitos não detectáveis em outros espécimes biológicos poderiam ser analisados no ar exalado, o que desperta grande interesse na análise do *doping*.

Além disso, deve-se levar em conta que, para a análise dessa amostra, necessita-se de equipamentos especializados e muito sensíveis para a identificação das substâncias, levando em conta a baixa concentração dos alvos analíticos no ar exalado (FORSTER; YONAMINE, 2018).

Uma análise comparativa entre as amostras estudadas foi demonstrada no Quadro 2.

Quadro 2. Análise comparativa entre as amostras atualmente empregadas no controle do *doping* esportivo e amostras alternativas que vêm sendo estudadas.

	Sangue	Urina	Cabelo/Pelos	Saliva	Ar exalado
Invasividade	Moderada	Baixa	Baixa	Baixo	Baixo
Custo	Alto	Moderado	Moderado	Alto	Moderado/Alto
Disponibilidade de volume amostral	Alta	Moderada/Alta	Moderada	Baixa	Baixa
Estabilidade da amostra	Baixa	Moderada	Alta	Moderada	N.D. *
Tempo de análise	Curto	Curto	Longo	Curto	Curto
Retrospectividade	Baixa	Moderada	Alta	Moderada	Baixa
Espectro de detecção	Alto	Alto	Moderado	Alto	Moderado

*N.D.= dados não-disponíveis

Fonte: Thevis *et al.* (2016).

4 DISCUSSÃO

Atualmente, os controles de doping são considerados essenciais no esporte de elite e têm sido alvo de melhorias, permitindo um amplo espectro de detecção e que tem como foco o combate a fraudes, tornando as competições esportivas igualitárias. A ascensão de técnicas e substâncias químicas que podem favorecer o



desempenho dos atletas, exige um aprimoramento constante nas técnicas usadas em testes anti-doping.

Enquanto o uso combinado de amostras de sangue e urina trazem importantes contribuições nesse campo, estudos avaliando matrizes alternativas revelam que estas poderiam contribuir para uma análise complementar e de maior precisão.

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que as amostras conhecidas como “alternativas” (cabelo/pelos, saliva e ar exalado) poderiam aprimorar as análises realizadas em amostras de sangue e urina. Por apresentarem algumas vantagens frente a essas amostras, que são consideradas o “padrão-ouro” atualmente, as matrizes alternativas poderiam, portanto, complementar e sanar algumas deficiências analíticas apresentadas por elas.

De acordo com Gordo (2013), uma das principais dificuldades encontradas nas amostras convencionais seria a adulteração ou substituição de amostras. Já usando o cabelo como matriz, este risco é reduzido por não encontrar questões sobre a manipulação por parte do atleta após a coleta. O autor relata ainda que, apesar do controle do doping ser realizado especialmente em amostras de urina, se realizadas em conjunto a amostras de cabelo, seria possível adquirir informações complementares pertinentes aos períodos que antecedem ao período da análise.

Autores como Tsanaclis et al. (2011) e Forster et al (2018) destacam a importância do cabelo e pêlos como amostras biológicas na detecção do doping químico, especialmente a sua baixa invasividade e altíssima retrospectividade. No entanto, esses materiais biológicos ainda não são empregados no mundo esportivo, devido a algumas possíveis interferências apontadas, como o uso de cosméticos e tinturas e a reconhecida variabilidade individual. Contudo, é inegável que o uso dessas amostras já é amplamente difundido nas análises forenses e legislação de trânsito, por exemplo, havendo muitas técnicas já padronizadas para elas o que nos permite acreditar que em um futuro muito próximo cabelo e pêlos serão amostras complementares na detecção do doping.

Domingues (2015) relata que o cabelo se sobressai diante das outras amostras biológicas como sangue, urina, suor ou saliva, justamente pelo seu poder de conservação e armazenamento por um tempo relativamente longo de diversas substâncias, sendo que essa propriedade possui grande utilidade na detecção do



consumo de drogas que são rapidamente metabolizadas e excretadas como, por exemplo, cocaína, opiáceos e anfetaminas.

Os dados obtidos revelam que de todas as matrizes convencionais, o cabelo e pêlos são aquelas que são mais fortemente consideradas a elencar o hall de amostras utilizadas na detecção do doping químico.

Quando se trata da saliva, uma outra matriz alternativa que apresenta vantagens frente as amostras usuais, autores ressaltam a cautela necessária em sua aplicação. Isso se dá pois, nesta matriz o volume amostral é baixo e faltam dados sobre a sua estabilidade na literatura. Porém, é incontestável a sua capacidade de detecção, especialmente de substâncias de baixo peso molecular, devido as substâncias químicas e seus metabólitos atingirem a saliva através de difusão passiva (FORSTER; YONAMINE, 2018). Entre aspectos positivos e negativos, os resultados deste trabalho revelam que a saliva ainda está distante de se consolidar como matriz biológica nos testes anti-doping, necessitando de mais estudos que elucidem suas propriedades e sua aplicação prática.

Os achados deste trabalho também evidenciaram que o ar exalado é considerado por pesquisadores como uma opção amostral, apesar de não ser empregado na atualidade. Este possui grandes vantagens no controle de dopagem, como a baixa invasividade e tempo de análise (FORSTER; YONAMINE, 2018). Entretanto, Thevis et al. (2016) destacam fatores que dificultariam o emprego dessas amostras na detecção do doping: dados insuficientes acerca de sua estabilidade, baixo volume amostral e detecção limitada à compostos voláteis. É também conhecido que análises conduzidas nesse tipo de amostra requereria equipamentos e técnicas altamente sensíveis, uma vez que pode haver baixa concentração de determinados compostos no ar exalado.

É válido destacar que a história do doping é antiga e a testagem foi iniciada pela WADA na década de 60, período onde muitas das técnicas analíticas que são amplamente utilizadas hoje nem sequer existiam, como é o caso da espectrometria de massas que ganhou força no fim dos anos 80 (BEYNON; BROWN, 2022). Com isso, os testes anti-doping apresentavam inúmeras limitações, inclusive em relações as amostras que poderiam ser empregadas, já que não havia padronização e tantas técnicas analíticas disponíveis.



Deste modo, é importante considerar essas matrizes alternativas que vêm sendo estudadas, com o objetivo de se aprimorar o controle do doping, afim de se obter uma detecção mais eficiente e evitar erros analíticos. Os dados obtidos revelam que, com a inovação tecnológica no campo da Toxicologia, que permitiu o emprego de novas técnicas e amostras biológicas em testes anti-doping, é questão de tempo para que mais estudos aprofundem o conhecimento acerca delas e viabilizem seu uso.

Segundo Soares (2018) e Protti et al. (2019), apesar das amostras de sangue e urina apresentarem inúmeras vantagens é importante considerar as matrizes biológicas alternativas com o objetivo de trazer um resultado mais completo, confiável e, preferencialmente, rápido e com bom custo-benefício.

Em busca de elucidar as questões levantadas nesse trabalho, especialmente no que diz respeito a pouca disponibilidade de dados acerca de algumas amostras, a realização de pesquisas nesse campo é essencial. Destaca-se ainda, que algumas outras amostras alternativas vêm sendo estudadas, como o suor e a “mancha de sangue seco” (DBS- do inglês, dried blood spot), porém, neste estudo foram selecionadas aquelas que apresentam maior interesse científico ou apresentam características que as colocam à frente das demais.

Aperfeiçoar os testes anti-doping vai muito além de tornar as competições mais justas, trata-se da saúde dos atletas, de aspectos econômicos e também políticos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que as amostras usadas na detecção do doping químico atualmente, sangue e urina, podem fornecer alguns vieses analíticos e inexatidão de resultados, amostras biológicas alternativas como cabelo/pêlos, saliva, suor e ar exalado, vêm ganhando a atenção da comunidade científica que busca compreender suas propriedades para que, num futuro próximo, estas possam complementar a sistemática de análise do doping nas competições esportivas.



No presente estudo concluiu-se que essas matrizes alternativas apresentaram algumas características importantes que poderiam complementar as técnicas empregando sangue e urina.

É fato que ao usar amostras de sangue e urina no controle do doping químico inúmeras vantagens são observadas, no entanto, para certas substâncias ou em certas condições, essas amostras podem fornecer resultados dúbios ou enviesados. Com isso, perante algumas vantagens apresentadas pelas amostras alternativas apontadas nesse estudo, elas mostram-se eficazes em aperfeiçoar a detecção de certas substâncias proibidas em competições esportivas e/ou em condições de análise específicas.

Apesar dos esforços da comunidade científica nesse campo, trata-se de um conhecimento recente e nenhuma dessas amostras foi oficialmente implementada. A presente revisão de literatura observou que mais estudos ainda precisam ser conduzidos, a fim de se obter informações mais precisas sobre o emprego das matrizes alternativas no controle de dopagem.

Promover um controle do doping químico mais eficiente vai muito além de promover competições mais justas, trata-se da saúde dos atletas e ainda de questões econômicas, uma vez que técnicas mais precisas poderiam reduzir o tempo e custos das análises.

Sendo assim, conclui-se a importância de promover melhorias na detecção do doping e que o uso de matrizes alternativas parece ser uma solução viável e tangível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, M. B; GUTIERREZ, D. M; GUTIERREZ, G. L.O doping e os Jogos Olímpicos: diferentes dimensões do fenômeno. Revista USP, n. 108, p. 77–86, 2016.
2. AQUINO, N. F.R; MARQUES, M.A.S; PEREIRA, H.M.G. Controle de dopagem no esporte: aspectos químicos e farmacológicos que afetam a detecção de drogas no cabelo. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, v. 38, p. 259–271, 2002.
3. CARDOSO, J. A. O Doping no esporte à luz do direito desportivo: dispositivos normativos e tecnológicos. Repositório.unesp.br. p 363, 2017.



4. BEYNON, J.H; BROWN, L. Mass spectrometry. Encyclopedia Britannica. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/mass-spectrometry>. Acesso em: 21 Set 2022
5. BIDLINGMAIER, M.W.U. Z; STRASBURGER, C. J. Problems with GH doping in sports. *Journal of Endocrinological Investigation*, v. 26, n. 9, p. 924–931, 2003.
6. BUENO, C. Competições de alto risco. *Ciência e Cultura*, v. 69, n. 2, p. 22–24, 2017.
7. CAMILO, G. A. O; FURTADO, R. F. Doping e a lógica da escolha. *Athenea Digital. Revista de pensamiento e investigación social*, v. 17, n. 1, p. 23–41, 2017.
8. CASTANHO, G.K.F; FONTES, E.B; FERNANDES, P. T. O perigo da contaminação de suplementos alimentares com substâncias ilícitas para os praticantes de exercício físico e esporte. *Conexões*, v. 12, n. 1, p. 161–180, 2014.
9. Comitê Olímpico do Brasil. Disponível em: <https://www.cob.org.br/pt/cob/antidoping>>. Acesso em: 21 fev. 2022.
10. DOMINGUES, Marina Isabel da Silva. Análise de cabelo: procedimentos e aplicações. *masterThesis*, [s.n.], 2015. Disponível em: <<https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/5328>>. Acesso em: 2 out. 2022.
11. FORSTER, G; YONAMINE, M. O Uso de Matrizes Alternativas no Controle do Doping no Esporte. 2018. Disponível em: <https://bdta.aguia.usp.br/item/002954626>. Acesso em: 15 ago. 2022.
12. GORDO, José Miguel de Oliveira. O cabelo como amostra biológica em toxicologia forense: colheita, análise e áreas de aplicação. *masterThesis*, [s.n.], 2013. Disponível em: <<https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/3987>>. Acesso em: 2 out. 2022.
13. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* | ScienceDirect.com by Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-pharmaceutical-and-biomedical-analysis>>. Acesso em: 13 mar. 2022.
14. LISBOA, M.P. Matrizes biológicas de interesse forense. 2016. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/48554>>. Acesso em: 12 set. 2022.
15. MANTOVANI, C.; FILONZI, M.; YONAMINE, M.; Suplementos nutricionais, hormônios e o controle da dopagem no esporte. In: [s.l.: s.n.], 2017, p. 775–814.
16. MARQUES, J.N.K. Breve história sobre o doping. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/profile/Nelson-Marques>>.



17. MOZANER, B.N; MONEDDEIRO, F.C; Eduardo; et al. Técnicas de preparo de amostras biológicas com interesse forense. *Scientia Chromatographica*, v. 7, p. 125–143, 2015.
18. OLAH, N. P; SANTOS, A.A. Doping Genético, a Cultura da “Celebração das Diferenças” e o Transhumanismo.
19. PROTTI, M; MANDRIOLI, R; MERCOLINI, L. Perspectives and strategies for anti-doping analysis. *Bioanalysis*, v. 11, n. 3, p. 149–152, 2019.
20. RIVIER, L. Is there a place for hair analysis in doping controls? *Forensic science international*, v. 107, p. 309–23, 2000.
21. SILVA, J. Uso de esteroides anabolizantes-Uma questão de educação, honestidade e ética.p.2,
22. SMITHSONIAN, M. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/history/the-1904-olympic-marathon-may-have-been-the-strangest-ever-14910747/>. Acesso em: 09.Ago. 2022.
23. SOARES, D.J.R. A dopagem no desporto - formas, biomarcadores e limitações no controlo analítico. In: *A dopagem no desporto - formas, biomarcadores e limitações no controlo analítico*. [s.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/84492>>. Acesso em: 4 set. 2022.
24. TAVARES, O. Doping: argumentos em discussão. *Movimento (Porto Alegre)*, v. 8, n. 1, p. 41–55, 2002.
25. TEIXEIRA, A.S. Doping: necessidade ou complemento? 2019. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/123874>>. Acesso em: 14 fev. 2022.
26. TRIVINO, J.L.P.Sport Enhancement: From Natural Doping to Brain Stimulation, *International Journal of Technoethics*, v. 5, n. 2, p. 82–93, 2014.
27. TSANACLIS, L.M; WICKS, J.F.C; CHASIN, A.A.M. Análises de drogas em cabelos ou pêlos. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, v. 4, n. 1, 2011. Disponível em: <[http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path\[\]=65](http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path[]=65)>. Acesso em: 2 ago. 2022.
28. UNAL, M; UNA, D.O. Gene Doping in Sports. *Sports Medicine*, v. 34, n. 6, p. 357–362, 2004.