

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO E SAÚDE  
GRADUAÇÃO EM BIOMEDICINA

**LEIDIANE SANTANA DE OLIVEIRA**

**APLICAÇÃO DOS MARCADORES MICROSSATÉLITES NA  
IDENTIFICAÇÃO HUMANA**

Trabalho de conclusão de curso em forma de artigo científico elaborado como requisito a conclusão do curso de Biomedicina da Faculdade de Ciências e Saúde sob a orientação do Professor Paulo Roberto Martins Queiroz.

BRASÍLIA  
2021

**Agradecimentos:**

Agradeço meu pai Alino, minha mãe Fátima e meu irmão Marcos, que não mediram esforços para me apoiar e proporcionar oportunidades de estudo para alcançar sempre mais conhecimento, que me fizeram valorizar a educação como o melhor caminho.

A minha amiga e colega de faculdade Nádyá, que entre diversas dificuldades que enfrentei para concluir a faculdade, como distância, problemas financeiros, início de depressão, fatos que me desmotivaram e quase me fizeram desistir do curso inúmeras vezes, mas graças a ela que sempre me motivou a continuar, eu consegui manter meu objetivo.

A minha avó Ana Lúcia que sempre me levou a Deus, e através da fé e da oração eu consegui controlar a minha ansiedade, manter a calma nos momentos que mais precisei.

A todos os professores do curso de Biomedicina do Uniceub, pois cada um teve sua parcela de contribuição para meu aprendizado e evolução, em especial meu orientador Dr. Paulo Roberto Queiroz, que não somente é um professor dotado de vasto conhecimento, mas que tem o dom de compartilhá-lo com maestria.

Ao meu noivo Caio, que me fez acreditar na minha capacidade, me auxiliou nos estudos, nas pesquisas, me ajudou a procurar artigos e livros e sempre esteve ao meu lado.

Obrigada a todos que contribuíram de alguma forma para essa grande conquista da minha vida, vocês fazem parte de tudo isso!

## **Aplicação dos marcadores microssatélites na identificação humana.**

Leidiane Santana de Oliveira<sup>1</sup>  
Paulo Roberto Martins Queiroz<sup>2</sup>

### **Resumo**

O presente estudo fará uma breve revisão bibliográfica em formato narrativo do uso dos marcadores moleculares para identificação humana focando as informações acerca dos marcadores microssatélites, com intuito de incentivar as pesquisas no Brasil, baseando em artigos científicos nos períodos entre 2011 e 2021. As técnicas da genética forense que vem há algumas décadas demonstrando grande relevância para elucidação de crimes, vínculo parental, casos de desastre, onde torna-se necessária a identificação humana. Registros da primeira aplicação pelo geneticista Alec Jeffreys em 1984 utilizando marcadores minissatélites, que foi sendo substituída pelos microssatélites, apresentando ao longo do anos notável vantagem de utilização na rotina criminal, como sua possível análise em amostras de DNA degradadas e escassas, o tempo de execução e custo menor de procedimento. Descrevemos todo processo desde a coleta e análise, até a implementação no Brasil do Bancos nacional de perfis genéticos (BNPG), devido a alta reprodutibilidade e poder discriminatório.

**Palavras chave:** Microssatélites; DNA forense; Marcadores Moleculares; PCR multiplex.

### **Application of STR markerns in human identification.**

#### **Abstract**

The present study will make a brief bibliographic review in a narrative format of the use of molecular markers for human identification, focusing on information about microsatellite markers, in order to encourage research in Brazil, based on scientific articles in the periods between 2011 and 2021. The techniques of forensic genetics that has been showing for a few decades a great relevance for the elucidation of crimes, parental bond, cases of disaster, where human identification is necessary. Records of the first application by geneticist Alec Jeffreys in 1984 using mini-satellite markers, which has been replaced by microsatellites, presenting over the years a notable advantage in the criminal routine, such as its possible analysis in degraded and scarce DNA samples, the execution time and lower procedure cost. We describe the whole process, from collection and analysis, to the implementation in Brazil of the national banks of genetic profiles (BNPG), due to their high reproducibility and discriminatory power.

**Keywords:** STRs; DNA Forensic; Molecular Markes; PCR multiplex.

---

<sup>1</sup> Estudante de Biomedicina do Uniceub

<sup>2</sup> Professor do Curso de Biomedicina do Uniceub

## 1. INTRODUÇÃO

Há apenas algumas décadas, a identificação humana através da análise de DNA tornou-se um utilitário indispensável na investigação criminal, sendo aceita rotineiramente em processos judiciais em todo o mundo. Utilizando o perfil genético de um indivíduo baseado na combinação de diversos marcadores que são herdados de seus pais biológicos. Bancos de dados podem ser construídos, abordando a distribuição de frequências destas variantes (GÓES, 2005). Esses marcadores são diferenças nas sequências de DNA entre os indivíduos (polimorfismos) (PANETO, 2006).

O uso de resultados de análises de DNA no processo legal é um tema altamente ambivalente (BIEDERMANN, 2014). A genética molecular vem sendo administrada em esfera judicial no processo de identificação humana por DNA, tanto em âmbito civil, como os testes de paternidade, como para elucidação de crimes com indivíduos envolvidos direta ou indiretamente nos nesses casos, e em situações de catástrofes ou acidentes graves (DECANINE, 2016).

Um enorme progresso pode ser visto nas técnicas de amplificação do DNA pela PCR na última década. Informações sobre a individualidade humana, foi um dos resultados do estudo do DNA, abrindo portas às novas vertentes para a ciência forense. Uma mudança considerável na tecnologia aconteceu a seguir, onde o estudo do polimorfismo do DNA entrou no lugar de outras técnicas, por ser feito em um curto espaço de tempo, se mostrou melhor que as análises sorológicas dos polimorfismos de proteínas e grupos sanguíneos, até então, usados exclusivamente na perícia. A partir desse avanço foram também desenvolvidos novos métodos de extração do DNA do sangue periférico, tecidos, ossos, cabelos, manchas de sangue, material vaginal, entre outros (JOBIM, 2006).

O DNA humano pode ser encontrado em quantidade necessária para exame em todas as células nucleadas do sangue e tecidos, em menor concentração no soro ou no plasma e no líquido amniótico placentário (JOBIM, 1996). Com o crescimento para o estudo dos microssatélites (STRs) que são os ideais para avaliação de pequenos fragmentos de DNA, na análise de ossos e material biológico decomposto, além de constituírem alto nível de polimorfismo. Os cientistas nunca estiveram em melhor posição para analisar a matéria biológica de várias naturezas, mesmo em quantidades limitadas (BIEDERMANN, 2014).

Portanto, nesse contexto existem grandes vantagens, sobre a tipagem molecular do DNA que devem ser elucidadas: a primeira delas é de maior destaque entre as outras, é a viabilidade de sua extração de qualquer fonte de material

biológico, a segunda vantagem é que o DNA possui um elevado poder segregativo, a terceira é a alta estabilidade química da molécula, possibilitando seu uso mesmo com o passar de um longo período de tempo, e a quarta consiste na possibilidade de distinguir DNA da célula espermática, de qualquer outro DNA celular (LEITE, 2013).

Está claro que nos dias atuais, obter respostas para situações antes impossíveis, sem os novos recursos de análise genética, está sendo hoje totalmente viável, como nos casos onde é necessário encontrar o autor de um crime. Apesar disso, não significa, porém, que a análise do polimorfismo do DNA tenha respostas para todas as indagações no campo da identificação, e nem que todos os resultados desses testes sejam imperiosamente confiáveis. Os equívocos que já surgiram, nos demonstram que há muita coisa ainda para ser aprimorada. Dentre algumas, a de que não se pode acreditar demasiadamente num procedimento passível de erros que ainda se consolida e já se rotula com a falsa expectativa de infalibilidade (NETO, 2004).

Diante de algumas barreiras na prática forense nos dias de hoje, como exemplo a cobrança do poder judiciário por respostas mais eficientes. A utilização de marcadores de DNA do ponto de vista social, é uma das mais revolucionárias ferramentas para a análise da identificação humana (DECANINE, 2016). Nesse contexto se deve a importância de elucidar a contribuição da biologia molecular, a sua aplicabilidade no contexto legal, marcadores moleculares relacionados às análises forenses, cuidados desde a coleta das amostras biológicas até o correto acondicionamento a fim de minimizar contaminações e degradação celular, garantindo maior taxa de resultados verdadeiros (BONACCORSO, 2005).

O objetivo deste trabalho é relacionar o papel do marcador molecular do tipo microsatélite de DNA, na identificação humana em âmbito judicial. Descrever os princípios da técnica utilizada, desde a coleta da amostra biológica, seu processamento, resultado e análise, demonstrando as vantagens da utilização desse marcador. Aclarar a implementação do Banco Nacional de Perfis Genéticos no país, bem como sua importância para o combate aos baixos percentuais de elucidação dos crimes no Brasil.

## **2. METODOLOGIA**

O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica no formato narrativa, buscando uma análise da literatura sobre a identificação humana por DNA no âmbito da perícia criminal. A revisão narrativa apresenta um caráter descritivo-discursivo,

determinado pela ampla apresentação e discussão de temas do interesse científico (ROTHER, 2007).

O embasamento teórico científico dessa revisão foi pautado em artigos, dissertações de tese acadêmicas e livros. O enfoque da pesquisa foram nos marcadores genéticos do tipo microssatélites de DNA, discutindo o papel dos marcadores moleculares para a identificação humana, os critérios, técnicas e sua aplicabilidade. A revisão abrangeu estudos publicados no período entre os anos de 2011 e 2021, utilizando as bases bibliográficas do Scielo, PubMed, Google acadêmico e repositório institucional do Uniceub, também foram acrescentadas publicações anteriores à data por serem relevantes ao trabalho. As palavras-chave utilizadas para o desenvolvimento do estudo foram: Microssatélites; DNA forense; Marcadores Moleculares; PCR multiplex, pesquisadas nos idiomas inglês e português.

### **3. DESENVOLVIMENTO**

#### **3.1. Surgimento dos marcadores moleculares**

Em 1984, que uma pesquisa feita pelo geneticista e médico Alec Jeffreys em Leicester – Reino unido, que teve como resultado a descoberta do primeiro *loci* polimórfico denominados minissatélites, e possibilitou sua aplicação na genotipagem em amostras forenses com alto nível de sensibilidade e reprodutibilidade. Após a utilização da técnica ter sido crucial para determinação do verdadeiro estuprador e assassino de duas vítimas, ficou claro ser potencial arma na resolução de delitos e na identificação humana (BONACCORSO, 2005).

O DNA humano é cerca de 99,9% igual em todos os indivíduos, apenas cerca de 0,01% do genoma humana, possuem regiões polimórficas que nos conferem características únicas, e são essas regiões que se tem interesse de estudo na área forense, pois com estudo delas podemos identificar uma pessoa como única, assim como uma impressão digital. Os Polimorfismos podem surgir de substituições, deleções, adições de bases, mas principalmente de mutações. Já existem estudos de mais de dez milhões de polimorfismos no DNA humano, que estão gerando produtos de amplificação cada vez mais curtos (JÚNIOR, 2014).

O uso da genética no âmbito forense passou a ser de suma importância para integrar o conjunto de provas em processos. A descoberta dos minissatélites, que se baseiam em regiões específicas do DNA com característica de repetição e com alto grau de variabilidade entre os indivíduos, especificamente no número de repetições. Grupo de pesquisadores vem buscando descobrir marcadores, para facilitar a

resolução de casos forenses, como marcadores autossômicos, DNA mitocondrial e cromossomo Y (MAGALHÃES, 2006).

A poucas décadas a identidade genética pelo DNA tornou-se uma ferramenta na investigação criminal, e a sua evolução e pesquisa trouxe novas técnicas na identificação. A genética forense veio superando outras técnicas preexistentes inclusive a clássica papiloscopia, o exame de arcada dentária além, tipagem sanguínea de sistema ABO e HLA, porém nenhuma se compara com a capacidade segregativa dos marcadores genéticos de DNA que podem ser encontrado em todos os tecidos biológicos humanos (PENA, 2005).

A técnica de identificação por DNA faz parte de um conjunto de processos analíticos. Os genes são partes de uma estrutura maior denominada cromossomo, para cada característica específica do indivíduo encontramos diferenças no gene expressado, sendo este o alelo que determina a imparidade biológica. A partir dos conhecimentos gerados acerca da estrutura da molécula é viável a utilização de bases para os testes de identificação, através do polimorfismo de diversos *locis* de minissatélites e microsatélites (FREITAS, 2013).

Apesar do genoma humano conter milhares de marcadores moleculares microsatélites, somente um pequeno acervo foi selecionado para serem aplicados em teste forenses, isso só foi possível após desenvolverem a técnica de PCR, onde permitiu que pequenas quantidades de DNA fossem amplificadas exponencialmente, assim fragmentos muito curtos puderam ser utilizados. Após a amplificação é determinado o número de regiões presentes em cada alelo encontrado, ele é medido através de uma corrida em gel de eletroforese (SILVA, 2011).

O que difere os minissatélites dos microsatélites são os números dos pares de base. O segundo deles, o mais adequado para o campo forense possui nucleotídeos alinhados e organizados em sequências de dois, três ou quatro, cada uma das regiões possui um determinado número de repetições ou seja, possui um tamanho e peso diferente que varia entre cada indivíduo e é também multialélico (GAERTNER, 2012).

O DNA a ser pesquisado será amplificado através da PCR, esse passo é importante para amplificar o DNA em quantidade suficiente para ser identificado, já que poucas quantidades podem levar a amplificação aleatória que impossibilita sua correta análise e para se isolar apenas um determinado segmento do DNA de interesse. O produto final é comparado com produtos de outras amostras, onde é feito um estudo de compatibilidade, em que nenhum outro indivíduo (exceto gêmeos univitelinos) compartilhará de um padrão idêntico de resultado (VIEIRA, 2011).

A partir desse conceito segue uma técnica fundamentada em uma reação de PCR e posteriormente a uma eletroforese capilar em um sequenciador. Os resultados geram um perfil único com altíssimo teor discriminatório, possibilitando a identificação humana (AGOSTINHO, 2012).

### **3.2. Marcadores do tipo Microssatélites**

Algumas metodologias de identificação humana ainda são utilizadas como primeira linha em casos criminais, como impressões digitais, arcada dentária e tipagem sanguínea, métodos utilizados, por seu baixo custo e facilidade de execução. Mas em determinadas situações, como ausência de impressão digital, devido ao estado de conservação do corpo, dentre outros obstáculos enfrentados, viu-se a necessidade de técnicas a serem empregadas nessas situações. Mais recentemente foi agregado o exame de DNA (SARMENTO, 2006).

Já se sabe que apenas uma quantidade muito pequena do nosso genoma é diferente de pessoa para pessoa, sendo que a grande parte do DNA é constituída de regiões que não se alteram. As regiões variantes são denominadas polimórficas, e são as regiões de interesse no estudo da criminologia forense, pela capacidade de individualizar as pessoas gerando um padrão de perfil genético quase único, com exceção de gêmeos univitelinos. Existem regiões com polimorfismos de sequência que se diferem na sequência de nucleotídeos e os polimorfismos de comprimento onde regiões não apresentam um padrão de repetição e o número de vezes que esse padrão aparece no genoma é que se diferencia, sendo a segunda de maior importância na aplicação forense e são denominadas regiões satélites (RICHTER, 2016).

Essas regiões satélites, são sequências de nucleotídeos repetidas em tandem. O que varia de pessoa para pessoa é o comprimento daquele fragmento de DNA. Classificamos as variações não pela disposição dos nucleotídeos, mas pelo número de vezes que eles se repetem, resultando em alelos de tamanhos diferentes. Esses alelos possuem característica de hereditariedade, onde herdamos um alelo da mãe e um alelo do pai (BARBOSA, 2018).

Os minissatélites foram as primeiras regiões satélites usadas para a resolução de um crime que se tem registro, estudado pelo médico e geneticista Alec Jeffreys. Na época o exame de DNA foi feito em amostra de sêmen encontrados no corpo de duas vítimas mulheres, que foram estupradas e encontradas mortas. O resultado foi uma prova chave para encontrar o culpado. Por serem marcadores maiores, e de maior peso molecular com 9 a 100 pares de bases, eles possuem a



desvantagem de serem mais instáveis, exigindo DNA íntegro para possibilitar a análise, surgiu então os microssatélites, que são os mais utilizados na rotina atual (DECANINE, 2016).

Os microssatélites possuem de 2 até 7 pares de base e seu tamanho reduzido confere alta estabilidade e resistência à degradação, chegando de 100 a 300 nucleotídeos podendo ser encontrados em todos tecidos humanos. Essas repetições são encontradas em maior quantidade como di, tri e tetranucleotídeos, em aparições de bem menor quantidade também os penta e hexanucleotídeos. Uma outra características encontradas neles é que eles estão tanto em regiões codificantes (éxons) e não codificantes (íntrons), mas em sua maioria são encontrados nos íntrons (RICHTER, 2016).

Existem outros marcadores genéticos de uso forense como os marcadores de origem exclusivamente matrilinea, que é o DNA mitocondrial, e de origem exclusivamente patrilinea, que é o STR-y. O DNA mitocondrial é mais utilizado para estudos de ancestralidade, ou casos de extrema degradação do DNA, pois o mesmo possuem muitas cópias no citoplasma, possuem conformação circular, que garante mais estabilidade. Sua técnica consiste no estudo das regiões hipervariáveis HV1, HV2, HV3. Em determinadas situações onde a necessidade do uso de outro desses marcadores, eles podem ser empregados, mas na rotina forense o mais importante e utilizado são os marcadores autossômicos (MAGALHÃES, 2016).

### **3.3. Coleta de Vestígios**

Encontramos DNA em todas as células nucleadas do organismo. Vestígios como fragmento de pele, músculos, saliva, urina, fezes, sangue, ossos, dentes, podem ser extraídos DNA. Em fios de cabelo que possuem o bulbo podemos encontrar DNA nuclear na raiz, e na extensão do fio podemos encontrar apenas DNA de citoplasma, que é o DNA mitocondrial (EKERT, 2016).

Em cena de crime, é sempre orientado a preservação do estado do local até a chegada da polícia científica para coleta de vestígios biológicos no ambiente, sem que haja alteração de terceiros. Cada amostra biológica tem uma orientação de coleta, manuseio e armazenamento diferentes, sua qualidade tem direta relação com a veracidade dos resultados. Os procedimentos devem ser seguidos rigorosamente a fim de conservar o vestígio e evitar degradação do DNA e contaminações por bactérias, fungos, vírus ou o próprio material biológico do examinador (CÉLIA, 2016).

Durante a manipulação é indispensável o uso de EPI's (Equipamento de proteção individual), sendo esses: máscaras, toucas, luvas, jaleco que conferem

proteção ao profissional que realiza a coleta e principalmente protege as amostras de contaminações sejam por outro material genético, por microrganismos ou mesmo por substâncias químicas que possam vir a degradar o DNA (GROCHOCKI, 2011).

Os materiais para a coleta devem ser de preferência descartáveis e estéreis, e em equipamentos reutilizáveis, não se deve usar na coleta de mais de um vestígio biológico. É importante a preservação de matérias em recipiente seco, longe da luz solar direta e agentes químicos e posteriormente armazenados sob refrigeração (CÉLIA, 2016).

Para as coletadas de amostras úmidas, elas precisam prioritariamente serem secas fora do alcance da luz solar no prazo máximo de duas horas, e desprovidas de outras substâncias contaminantes e de insetos. Líquidos como urina, por terem menos células, devem ser coletadas no maior volume possível, com seringa ou pipeta descartável, transportando e armazenando sob refrigeração na temperatura média de 4º graus Celsius (LEITE, 2013).

Deve-se atentar que uma má coleta de vestígios prejudica a sua análise, mas mesmo nas situações em que o material foi coletado de forma totalmente preservada, não inclui seu resultado como única prova necessária para uma sentença, o estudo do DNA por si só não geram resultados suficientes, sendo necessário outras técnicas utilizadas em criminalística para solucionar o crime. Existem regras a serem seguidas quanto ao acondicionamento, coleta, e preservação das amostras (BARBOSA, 2018).

### **3.4. Processamento da Amostra**

Após a devida coleta, transporte e acondicionamento de uma amostra biológica a fim de preservar contra riscos de contaminação e deterioração, essa amostra é purificada para extração do DNA. Nessa fase sabemos que as células contidas nas amostras possuem várias moléculas além dos ácidos nucleicos DNA e RNA, como proteínas, lipídeos, carboidratos diversos e oligoelementos. Para isolar apenas a molécula de DNA, na primeira fase se promove o rompimento das membranas celulares da amostra através de solução detergente e nessa fase também, para impedir a hidrólise do DNA, são adicionadas proteinases (SPUDEIT; DOLZAN; MICKE, 2012).

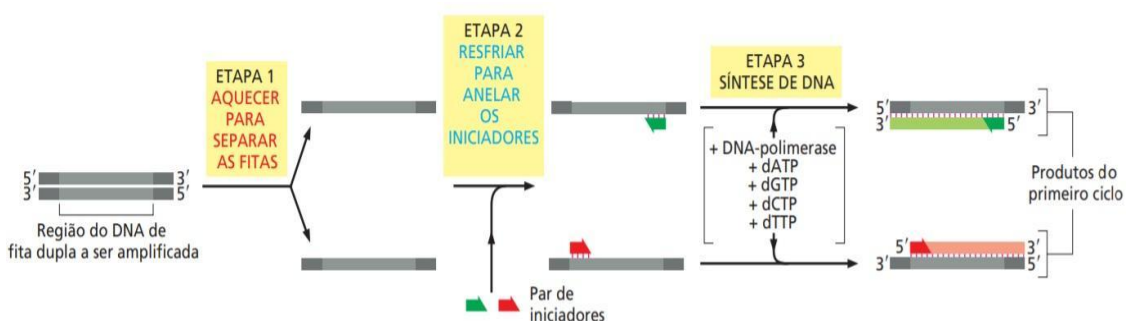
Na segunda fase de extração, adicionamos RNAses, para digestão do RNA. Na terceira fase vamos começar a remover tudo que não for DNA da solução, feita com fenol e clorofórmio que são adicionados na amostra e por serem lipossolúveis, se unem aos complexos originados das digestões das fases anteriores, formando duas fases no tubo, a aquosa contendo o DNA e a orgânica contendo os contaminantes. A

quarta e última fase é da precipitação e purificação, acrescenta-se isopropanol para ressuspensão, e as lavagens com etanol 70% e ressuspensão novamente solução tampão de eluição com Tris e EDTA, no final chegamos ao DNA puro livre de contaminantes (VAZ, 2015).

Após purificada, sem moléculas que possam interferir sua análise, o DNA é submetido a uma reação de PCR, que tem por finalidade amplificar os ácidos nucléicos para a sua análise. Em um tubo é colocada a amostra purificada, primers ou iniciadores, TAQ polimerase e nucleotídeos. O conteúdo do tubo é acondicionado em um termociclador, um equipamento onde ocorre através de variações na temperatura amplificação dos microssatélites. São vários ciclos diferentes e ao final de cada ciclo, se obtém a duplicação da quantidade de DNA anterior (BAREA; PARDINI; GUSHIKEN, 2004).

Na Figura 1 está representando as etapas da PCR, sendo que a primeira temperatura do ciclo chega a 96°, nesse ciclo ocorre a quebra das ligações de hidrogênio, abrindo a dupla fita de DNA. Na segunda fase do ciclo, a temperatura é de 68°, onde ocorre o anelamento, iniciadores ou primers se ligam a uma região específica e refazem as ligações de hidrogênio. Na terceira e última fase do ciclo, a temperatura vai 72°, sendo a ideal para a ação da enzima Taq polimerase que promove a extensão e o aumento exponencial. O aumento é direcionado apenas a regiões específicas já conhecidas que são dos microssatélites (VAZ; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2015).

**Figura 1:** Esquema de etapas da reação de cadeia em polimerase (PCR)



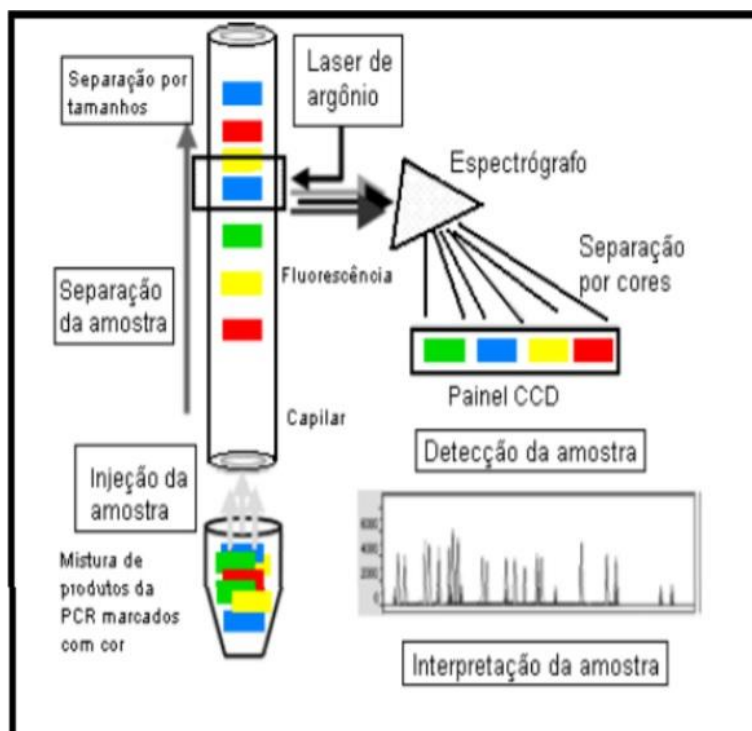
Fonte: WALTER (2017).

A PCR multiplex é a mais utilizada na rotina forense. A sua vantagem é a amplificação de mais de uma região do DNA na mesma reação, adicionando vários pares de primers diferentes, cada uma com capacidade de se ligar a um determinado alelo. Atualmente os resultados da amplificação na reação da PCR, são condicionadas a uma eletroforese capilar feita em um sequenciador. Os fragmentos da PCR são

ligados a fluoróforos, que correm por um capilar de polímero, onde um laser detecta a sua fluorescência. Essa mobilidade do fragmento de DNA é viável devido a carga negativa do DNA, que é adicionado em um lado que contém um ânodo de carga equivalente, e é atraída para o lado oposto, que contém um cátodo, com carga oposta, ou seja positiva (SPUDEIT; DOLZAN; MICKE, 2012).

A finalidade da eletroforese é separar os fragmentos de composição iônica amplificados na PCR por tamanho como mostra a Figura 2, ondes fragmentos são captados pelo capilar através da emissão um laser, sendo esses fragmentos com diferentes capacidades de migração, ou seja, quanto maior o número de repetições, maior será o peso molecular e menor sua mobilidade na reação, sendo que o contrário acontece com fragmentos de menor número de repetições e peso molecular, que possuem uma mobilidade maior submetidas ao campo elétrico (ROSA et.al., 2018).

**Figura 2:** Funcionamento da eletroforese capilar.



Fonte: CRISPIM (2012).

Os resultados do sequenciador são enviados a um software que converte a intensidade da fluorescência em um gráfico de picos, esse gráfico é um eletroferograma que contém informações capaz de individualizar uma pessoa, através do perfil genético gerado. Para resolução no âmbito judicial comparamos os perfis da amostra referência, com a amostra questionada. O mínimo de marcadores que aferem

um resultado confiável são 13, sendo esses registrados pelo sistema que vem se implementando no Brasil o software CODIS desenvolvido pelo FBI nos Estados Unidos, são eles: TPOX, D3S1358, FGA, D5S818, CSF1PO, D7S820, D8S1179, TH01, VWA, D13S317, D16S539, D18S51, D21S11, e as Amelogeninas do cromossomo X e Y, que são utilizadas para determinação de sexo em amostras desconhecidas (SANTIAGO; SIQUEIRA; BARCELOS, 2020).

Existe a falsa impressão da infalibilidade do teste de DNA, mas como qualquer outra técnica o mesmo é passível de erros humanos. No Brasil não existe ainda órgão de controle de qualidade público ou privado, e um conjunto de critérios devem ser seguidos à risca, como número de marcadores utilizados, qualidade das amostras coletadas, qualidades dos reagentes dos kits, entre outros. É inegável a importância do DNA forense para a justiça, mas por ter uma margem de erro, mesmo que infinitesimal, não pode ser aceito como prova absoluta e infalível (NETO, 2004).

### **3.5. Banco de perfis genéticos nacional**

A Inglaterra foi uns dos países pioneiros na criação de softwares para um banco de dados com a finalidade armazenar perfis genéticos no ano de 1995. Os Estados Unidos também aderiu ao registro do perfil genético de criminosos através da elaboração do sistema CODIS (Combined DNA Index System) pelo FBI (Federal bureau of investigation). Vendo a necessidade da existência de um banco de dados dessa formatura no Brasil, onde estudos recentes apontaram que a taxa de elucidação de crimes do Brasil é extremamente baixa, cerca de 10%, então na perspectiva de melhorar esse índice o país fez parceria com os Estados Unidos para implementação do programa aqui em território nacional (FRANCEZ; POMBO; SILVA, 2020).

A efetivação do banco de dados foi liberada pela lei 12.654/12 que foi reformulada, antigamente ter registrado o perfil genético de um criminoso para posteriores consultas e comparações, era entendido como produção de prova contra si mesmo, o que foi revogado por essa lei, visto que o DNA é algo inerente do ser humano contido nele desde sua existência, e não um elemento produzido em cena de crime. Contudo, se comparado aos outros países, o Brasil ainda enfrenta algumas limitações, pois preconiza apenas a inclusão no sistema, dos perfis genéticos de criminosos com transgressões de caráter doloso ou hediondo (SANTIAGO; SIQUEIRA; BARCELOS, 2020).

Utilizado também como ferramenta para identificação e reconhecimento de desaparecidos, o banco abriga dados genéticos de pessoas onde a identidade é desconhecida e restos mortais encontrados, dados esses que podem ser acareados

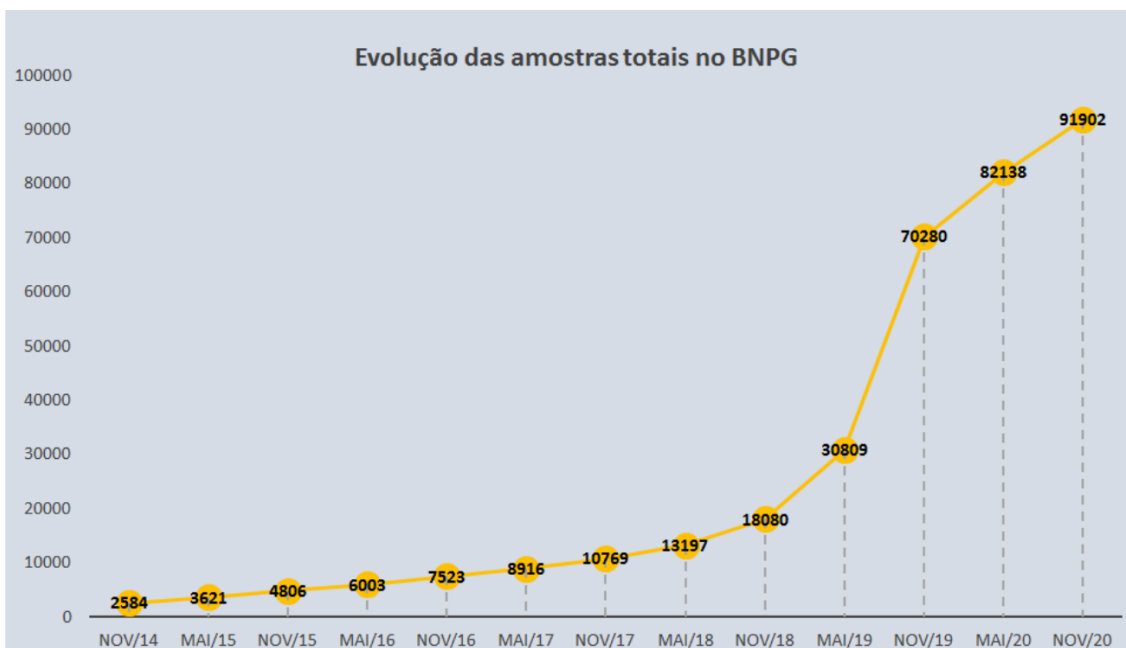
por dois processos distintos, o primeiro sendo comparado com amostras de possíveis parentes, formando uma árvore genealógica com os graus de parentesco, e o segundo de forma direta, com DNA encontrado em objetos de uso pessoal do indivíduo como roupas e escova de dentes. A lei garante aos familiares que doam seu material genético ao banco, seu uso exclusivo para ser confrontado com dados de desaparecidos, sendo proibido sua utilização para outros fins (RICHTER, 2016).

As amostras fornecidas por pessoas com graus de parentesco com os desaparecidos, opostamente a criminosos de cunho doloso, seguem outra legislação, além de serem armazenadas em bancos, e para finalidades divergentes, os doadores colaboram com amostra biológica de forma voluntária, de acordo com a proteção dos direitos humanos, sem tentativa de coação e persuasão. O ideal são dados coletados de pelo menos dois familiares, e para complementação e um maior poder discriminatório são acompanhados de marcadores de linhagem de herança patrilínea com o Y-STR ou matrilinea com o DNA mitocondrial (GARRIDO; RODRIGUES, 2015).

O processo de identificação nos bancos de perfis genéticos, ocorre através da comparação dos perfis armazenados nas seguintes categorias, sendo elas, dos vestígios, condenados, suspeitos, legal, restos mortais não identificados, familiares de pessoas desaparecidas, pessoa de identidade desconhecida e referência direta ou indireta de pessoas desaparecidas. O software CODIS realiza comparação para buscar coincidências nos perfis armazenadas por meio de um algoritmo que analisa os índices, resultando em uma lista de similaridade dos padrões, esse resultado passa por um especialista testado e licenciado com experiência, para validar ou questionar as correspondentes comparações encontradas e liberar o laudo final (RITCHER, 2016).

Todos os dados citados geram um relatório de publicação anual de autoria da rede integrada de bancos de perfis genéticos, constituída pelos estados cujo sistema já está efetivado. Nesse relatório são organizadas as informações emitidas a respeito do sistema e do número de perfis registrados, onde podemos observar através de um gráfico na Figura 3 a crescente evolução do cadastro dos perfis a partir do ano 2014, em que começou a ser implementada no país. Apesar da gradativa inicial ser lenta, notamos que depois de 6 anos, a adesão dos registros aumentou significativamente, fator esse que ocorreu devido à expansão aos demais estados brasileiros (BRASIL, 2020).

**Figura 3:** Demonstra a evolução de perfis cadastrados no BNPG entre novembro de 2014 a novembro de 2020.



Fonte: BRASIL (2020).

Pelo quadro notamos um aumento gradual no número de perfis inseridos no banco, com acentuação na linha no ano de 2019. O CODIS abriga tanto microssatélites autossômicos, quanto STR-y e marcadores de DNA mitocondrial. Há também uma seção no banco para perfis de familiares de pessoas desaparecidas, para serem confrontados com restos mortais. Para a otimização nacional de um banco de dados genéticos, surgiu a RIBPG (Rede Integrada de Banco de Perfis Genéticos) que registram essas informações permitindo a busca e comparação de perfis genéticos, viabilizando a agregação da bioinformática e bioestatística na ciência forense. A regulamentação foi através do decreto nº 7.950 do ano 2013 partindo da assinatura de um acordo de cooperação técnica entre os estados (BRASIL, 2020).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica claro nesse artigo de revisão, o quanto as técnicas de biologia molecular evoluíram com os estudos e vieram demonstrando grande importância na composição de provas para elucidação de casos no âmbito judicial. Ao longo do tempo foi descoberto marcadores genéticos cada vez mais estáveis, e rotina de análises mais práticas com menor custo de realização, isso tornou possível a identificação humana em casos de maior complexidade, em situações de pouca quantidade de amostra

biológica e elevado estado de deterioração. Uma prova irrefutável e de alto peso para solucionar crimes, em que exista a necessidade de se chegar ao culpado ou inocentar alguém.

Grande avanços foram vistos graças às pesquisas dedicadas a área e a mais recente delas, sendo a implementação do Banco de perfis genéticos nacionais, que já está acontecendo no Brasil, com um sistema criado para registrar e aumentar a porcentagem de casos solucionados que se encontra em baixos índices atualmente, seguindo exemplo de países como os Estados Unidos que já desfrutam dos benefícios do sistema facilitando os trâmites dos processos, principalmente em casos de criminosos reincidentes.

A impunidade no Brasil se encontra em níveis alarmantes, que afetam diretamente a vida dos cidadãos que vivem de acordo com as regras, normas e leis do país. A genética forense e todo seu campo de aplicação na esfera criminal, vem atuando progressivamente para confrontar as perspectivas negativas, para que os culpados sejam devidamente julgados e sentenciados e os inocentes eximidos da culpa, trabalhando para a praticabilidade das leis e o cumprimento da justiça no Brasil.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, L.A. et al. Construção de sistema Multiplex utilizando cinco marcadores genéticos do tipo mini-STR (short-amplicons) para identificação humana por análise de DNA. **Revista Científica da Faminas**, Muriaé, v. 7, n. 3, p. 11-41, set./dez. 2012. Disponível em: <http://periodicos.faminas.edu.br/index.php/RCFaminas/article/view/279>. Acesso em: 11 maio 2021.

BARBOSA, R.P.; ROMANO, L.H. História e importância da genética na área forense. **Revista Saúde em foco**. 2018. Disponível em: [https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/041\\_Hist%C3%B3ria\\_e\\_Import%C3%A2ncia\\_da\\_Genetica\\_Forense.pdf](https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/041_Hist%C3%B3ria_e_Import%C3%A2ncia_da_Genetica_Forense.pdf). Acesso em: 11 maio 2021.

BAREA, J.A.; PARDINI, M.I.M.C; GUSHIKEN, T. Extração de DNA de materiais de arquivo e fontes escassas para utilização em reação de polimerização em cadeia (PCR). **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**. 2004. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-84842004000400008](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-84842004000400008). Acesso em: 11 maio 2021.

BASSO, M.A. **A identificação criminal por meio da coleta de material genético: benefícios e constitucionalidade da Lei nº 12.654/12**. 2014. 80f. Dissertação de monografia de conclusão de curso da faculdade de Direito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/112107#:~:text=Dentro%20da%20realidade%20proposta%20%C3%A9,de%20crimes%20violentos%20e%20graves>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

BIEDERMANN, A.; VUILLE, J.; TARONI, F. DNA, statistics and the law: a cross-disciplinary approach to forensic inference. **Frontiers in Genetics**, v.5, p.136-137, 2014. Disponível em:



<https://www.frontiersin.org/research-topics/1325/dna-statistics-and-the-law-a-cross-disciplinary-approach-to-forensic-inference>. Acesso em: 11 maio 2021.

BRASIL, Lei nº 12.654. **Diário Oficial da União**. Maio, 2012. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/DOU/2012/05/29>. Acesso em: 15 maio 2021.

BRASIL, Ministério da Justiça e Cidadania. **XII Relatório da rede integrada de bancos de perfis genéticos (RIBPG)**. Novembro. 2020. Disponível em: <https://www.justica.gov.br/sua-seguranca/seguranca-publica/ribpg/relatorio/xii-relatorio-da-rede-integrada-de-bancos-de-perfis-geneticos.pdf/view>. Acesso em: 04 maio 2021.

BONACCORSO, N.S. **Aplicação do exame de DNA na elucidação de crimes**. 2005. 156f. Dissertação Mestrado Curso de Medicina Forense, Faculdade de Direito. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2136/tde-15092010-145947/pt-br.php>. Acesso em: 11 maio 2021.

CÉLIA, A. DNA forense e a coleta de vestígios em locais de crime. Instituto de Pós Graduação IPOG. **Revista Especialize on-line IPOG**, v.1, n.14, p.2-14. Goiânia, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/69367801-Dna-forense-e-a-coleta-de-vestigios-em-locais-de-crime.html>. Acesso em: 24 maio 2021.

CRISPIM, B.A. et al. Disseminação alélica em ovinos naturalizados do pantanal sul Mato-Grossense por meio de marcadores microssatélites. **Journal of the selva andina research society**.v. 3, p. 3-21. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/230710696\\_Discriminacao\\_alelica\\_em\\_ovinos\\_naturalizados\\_do\\_Pantanal\\_Sul-Matogrossense\\_por\\_meio\\_de\\_marcadores\\_microsatelites](https://www.researchgate.net/publication/230710696_Discriminacao_alelica_em_ovinos_naturalizados_do_Pantanal_Sul-Matogrossense_por_meio_de_marcadores_microsatelites). Acesso em 18 de jul de 2021.

DECANINE, D. O papel de marcadores moleculares na genética forense. Universidade Católica Dom Bosco. **Revista Brasileira Criminalística**. v.2, p.18-27, 2016. Disponível em: <http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/123>. Acesso em: 11 maio 2021.

DOLINSKY, L.C.; PEREIRA, L.M.C.V. DNA forense artigo de revisão. **Saúde e Ambiente em Revista**, v.2, n.2, p.11-22, 2007. Disponível em: [https://www.biologia.bio.br/curso/2%C2%BA%20per%C3%ADodo%20Faciplac/Gen%C3%A9tica/DNA%20forense\\_artigo%20de%20revis%C3%A3o.pdf](https://www.biologia.bio.br/curso/2%C2%BA%20per%C3%ADodo%20Faciplac/Gen%C3%A9tica/DNA%20forense_artigo%20de%20revis%C3%A3o.pdf). Acesso em: 11 maio 2021.

EKERT, M.H.F; et. al. DNA forense aplicado na identificação de vítimas de crimes em PERNAMBUCO, BRASIL. **Revista Brasileira de Criminalística**, v.5, n. 2, p. 14-17, 2016. Disponível em: <http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/118>. Acesso em: 11 maio 2021.

FRANCEZ, P.A.C; POMBO, A.M.L; SILVA, R.S. Risco de contaminação por DNA de alto peso molecular e por amplicons em laboratório de Genética forense no Brasil. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 9, n. 2, p. 85-94, 2020. Disponível em: <http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/245>. Acesso em: 11 maio 2021.

GARRIDO, R.G; RODRIGUES, E.L. O banco de perfis genéticos três anos após a lei. **Revista de Bioética y Derecho**, n. 35, p. 94-107, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1344/rbd2015.35.14284>. Acesso em: 03 de jun 2021.

GÓES, A. C. S. Análise de regiões polimórficas do DNA com o objetivo de estabelecer vínculos genéticos, identificar restos mortais ou realizar perícias criminais. **Revista do**

- Biomédico**, v.65, p. 22-23, 2005. Disponível em:  
[http://www.crbrm1.gov.br/bio65/artigocien\\_65.asp](http://www.crbrm1.gov.br/bio65/artigocien_65.asp). Acesso em: 11 maio 2021.
- GROCHOCKI, T.M.; QUEIROZ, P.R.M. **Análise de Dna em vestígios encontrados na cena de crime por meio de microssatélites**. 19f. Universidade Católica de Goiás. Goiânia-GO, 2011. Disponível em:  
<https://silo.tips/download/analise-do-dna-em-vestigios-encontrados-na-cena-de-crime-por-meio-de-microssatel>. Acesso em: 11 maio 2021.
- JOBIM, L. F.; COSTA R. L.; SILVA M. **Identificação humana pelo DNA**. 2 ed. Campinas: Millenium Editora p.23-28, 2006.
- JOBIM, M. R.; et. al. **Novos testes de DNA na investigação de paternidade com o suposto pai falecido**. v.874, p.55-69. Porto Alegre-RS, 2008. Disponível em:  
[http://dnareference.com.br/laboratorio/wp-content/uploads/sites/2/2017/04/ARTIGO\\_No\\_vos\\_Testes\\_de\\_DNA.pdf](http://dnareference.com.br/laboratorio/wp-content/uploads/sites/2/2017/04/ARTIGO_No_vos_Testes_de_DNA.pdf). Acesso em: 24 maio 2021.
- JUNIOR, J.R.S; SOUSA V.E.T. Marcadores moleculares: Um enfoque forense. **Revista Acta de Ciências e Saúde**, v.1, p.36-57, 2014. Disponível em:  
<https://www2.ls.edu.br/actacs/index.php/ACTA/article/view/81/74> Acesso em: 13 maio 2021.
- KAYE, D. H. **The double helix and the law of evidence**. Cambridge, London: Harvard University Press, 2010. Disponível em:  
[http://www.personal.psu.edu/dhk3/pubs/11-Gian-JJ\(DHLErev\)l.pdf](http://www.personal.psu.edu/dhk3/pubs/11-Gian-JJ(DHLErev)l.pdf). Acesso em: 24 maio 2021
- LEITE, V. S.; et. al. **Uso das técnicas de biologia molecular na genética forense**. Camaragibe, PE, 2013. Dissertação (Mestrado) em perícias forenses na faculdade de odontologia da Universidade de Pernambuco. 19f. Camaragibe, PE, 2013. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5475842>. Acesso em: 13 maio 2021.
- MAGALHAES I.M.; SILVA D.M. Informações acerca de marcadores moleculares uniparentais: DNA mitocondrial e cromossomo Y. **Estudos de Biologia**, v. 28, n.63, p. 81-88, 2006. Disponível em:  
<https://periodicos.pucpr.br/index.php/estudosdebiologia/article/view/22726> Acesso em: 11 maio 2021.
- QUEIROZ, S.C.N; JARDIM, I.C.S.F. Eletroforese capilar. **Revista Chemkeys**, v.8, p. 1-9, 2001. Disponível em:  
<https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9649/5066>. Acesso em: 13 maio 2021.
- NETO, H. O. M. A falibilidade do exame de DNA: necessidade de revisão da postura dos julgadores nas ações de investigação de paternidade. **Revista da Faculdade de Direito de Campos**. v.8, p. 583-584, 2004. Disponível em:  
<http://fdc.br/arquivos/mestrado/revistas/revista04e05/discente/06.pdf>. Acesso em: 13 maio 2021.
- PANETO, G. G. **Utilização do DNA mitocondrial no contexto forense brasileiro**. Araraquara, 2006. 86f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Análises Clínicas da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2006.
- SANTIAGO, M.C.; SIQUEIRA, B.O.; BARCELOS, R.S.S. Uso e benefício da biologia molecular nas ciências forenses e sua aplicação no banco de perfis genéticos. **Revista Brasileira de Criminalística**. 2020. Disponível em:  
<http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/342/pdf>. Acesso 11 maio 2021.

SARMENTO F.J.Q.; ALMEIDA E.S.; SILVA L.A.F. **Modelagem de um ambiente para análise de DNA em genética forense**. 46f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Alagoas. Maceio-AL, 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/842/1/Modelagem%20de%20um%20ambiente%20para%20an%C3%A1lise%20de%20DNA%20em%20gen%C3%A9tica%20forense.pdf>. Acesso em: 11 maio 2021.

SILVA, A.C.A. **Na saúde e na doença: variabilidade genética humana estimada por marcadores genéticos neutros e em genes**. 168f. Tese de pós-graduação na Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2016. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21709/1/2016\\_AnaCarolinaArcanjoSilva.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21709/1/2016_AnaCarolinaArcanjoSilva.pdf). Acesso em: 13 maio 2021.

SILVA, C.A. L.; QUEIROZ, P. R. **Importância dos marcadores microssatélites como prova forense de DNA na investigação de vínculo genético**. Goiânia, 2011. 20f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Farmácia e Química Forense, Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10907832-Importancia-dos-marcadores-microssatelites-como-prova-forense-de-dna-na-investigacao-de-vinculo-genetico.html>. Acesso em: 13 maio 2021.

SPUDEIT, D.A.; DOLZAN, M.D.; MICKE, G.A. **Conceitos básicos em eletroforese capilar**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2012. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/sc.2012.017>. Acesso em: 24 maio 2021.

STRACHAN, T.; READ A.P. ARTEMED. **Genética molecular humana**. Porto Alegre-RS; Artmed. 2012.

RICHTER, V.S. **Identificação genética e crime: a Introdução dos bancos de DNA no Brasil**. 302f. Tese de pós-graduação em antropologia social. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/178189#:~:text=Em%202012%2C%20o%20Brasil%20aprovou,para%20fins%20de%20investiga%C3%A7%C3%A3o%20criminal.&text=A%20chegada%20dos%20bancos%20de,bancos%20nacionais%20de%20perfis%20gen%C3%A9ticos>. Acesso em: 13 maio 2021.

ROSA, R.J.; et. al. **Eletroforese Capilar para iniciantes**. Embrapa. Rio de Janeiro, RJ, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195077/1/Doc-133-CGPE-15106-CP-18-18-27mar2019.pdf>. Acesso em: 13 maio 2021.

ROTHER, Edna Terezinha. Revisão sistemática x revisão narrativa. **Revista Acta Paulista de Enfermagem**. São Paulo, v. 20, n. 2, 2007. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-21002007000200001](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-21002007000200001). Acesso em: 13 maio 2021.

VAZ, F.A.S.; OLIVEIRA, C.L.M.; OLIVEIRA, M.A.L. Fundamentos de eletroforese capilar: Uma abordagem por animações. **Revista Química Nova**, v. 38, n. 5, p-732-737, 2015. Disponível em: [http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=6233](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6233). Acesso em: 13 maio 2021.

VIEIRA. S. **Genética forense**. 30f. Trabalho de conclusão de curso da Universidade Federal do Paraná. Votorantim-SP, 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/38895/R%20-%20E%20-%20SILVA%20VIEIRA.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 13 maio 2021.

VOSGERAU, R.D.S.; ROMANOWSKI, J.P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista Diálogo Educacional**, v. 14, n. 41, 2014. Disponível em:  
<https://periodicos.pucpr.br/index.php/dialogoeducacional/article/view/2317/2233>. Acesso em: 24 maio 2021.

WALTER, A.J.L.M.R.R. In: ARTEMED. **Biologia molecular da célula**. Porto Alegre-RS. ARTEMED. v,6 p.509, 2017.