

# MUDAR OU NÃO MUDAR?

A Evolução da  
Camuflagem Sazonal  
e as Alterações  
Climáticas



Sugestão de citação: Campos R, Melo-Ferreira J. (2022). Mudar ou não mudar? A evolução da camuflagem sazonal e as alterações climáticas. CIBIO-InBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBIO Laboratório Associado. Porto, Portugal.

*Este livro eletrónico é distribuído gratuitamente e sem restrições ao seu uso desde que o seu conteúdo não seja alterado nem seja usado para fins comerciais. É escrito segundo as regras do Acordo Ortográfico de 1990 contra a vontade da autora e do autor.*

*R. Campos e J. Melo-Ferreira são investigadores com contratos financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (referências DL57/2016/CP1341/CT0001 e CEECIND/00372/2018, respetivamente).*

# MUDAR OU NÃO MUDAR?

A Evolução da  
Camuflagem Sazonal  
e as Alterações  
Climáticas

## AGRADECIMENTOS

*Devemos um agradecimento às crianças, jovens e professoras/es que nos ajudaram a construir esta história a partir dos resultados obtidos durante o projeto de investigação e a testar algumas das atividades aqui propostas.*

*Agradecemos também à Inês Miranda e ao João Pimenta pela cuidada revisão do texto, por todas as sugestões para o melhorarmos e pelo trabalho de investigação desenvolvido no tema.*

*Devemos ainda um agradecimento adicional a Paulo C. Alves, L. Scott Mills, Jeffrey M. Good, Karol Zub, Mafalda S. Ferreira, Iwona Giska e Marcela Alvarenga.*

# Nota prévia

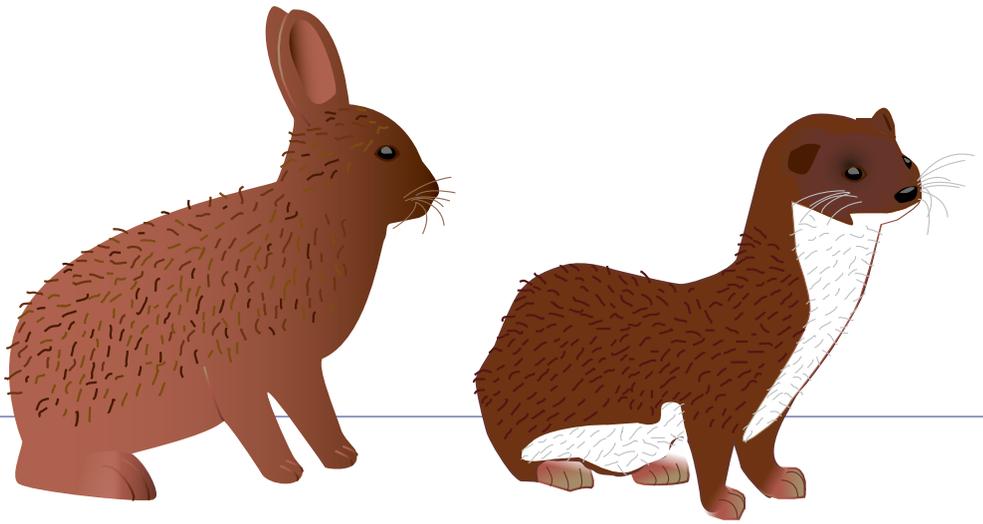
Às professoras, educadoras e mães,  
Aos professores, educadores e pais,

Este livro resume parte do trabalho desenvolvido pelo grupo de investigação EVOCHANGE — Genómica da Mudança Evolutiva (<https://evochangept.wordpress.com/>), que, entre outros temas, estuda a evolução de características que serão responsáveis pela adaptação das populações a certos locais. Uma dessas características, que é fortemente influenciada pelas alterações climáticas, é a mudança sazonal da cor da pelagem — castanha entre a Primavera e o Verão, branca entre o Outono e o Inverno. No nosso grupo, procuramos identificar as variantes genéticas responsáveis por essa variação da característica em espécies de lebres e doninhas da região norte do Hemisfério Norte.

As etapas da investigação são contadas em forma de narrativa ficcional e com linguagem acessível a diferentes faixas etárias e níveis de ensino ou escolaridade. No entanto, para crianças mais pequenas, recomenda-se que a leitura seja feita primeiro por um/a adulto/a que a possa depois reinterpretar, adequando-a à idade e maturidade das crianças.

Com o objetivo de facilitar a sua utilização em contextos educativos, incluímos no final informação adicional e sugestões de atividades didáticas. A informação adicional abrange conteúdos curriculares do 1º Ciclo do Ensino Básico ao Secundário, esperando assim ampliar as possibilidades de articular a narrativa com as Aprendizagens Essenciais nestes ciclos de estudo, bem como contribuir para os princípios preconizados para o Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória. As atividades sugeridas poderão ser usadas como base para a introdução dos conteúdos ou para consolidar o conhecimento. E sempre como uma forma alternativa e divertida de aprender.

Espera-se ainda que este livro possa auxiliar o ensino interdisciplinar, cruzando as Ciências Naturais/Estudo do Meio com o Português, a Matemática, as Expressões Artísticas, a Geografia ou a Educação para a Cidadania.



# Estamos em Outubro.

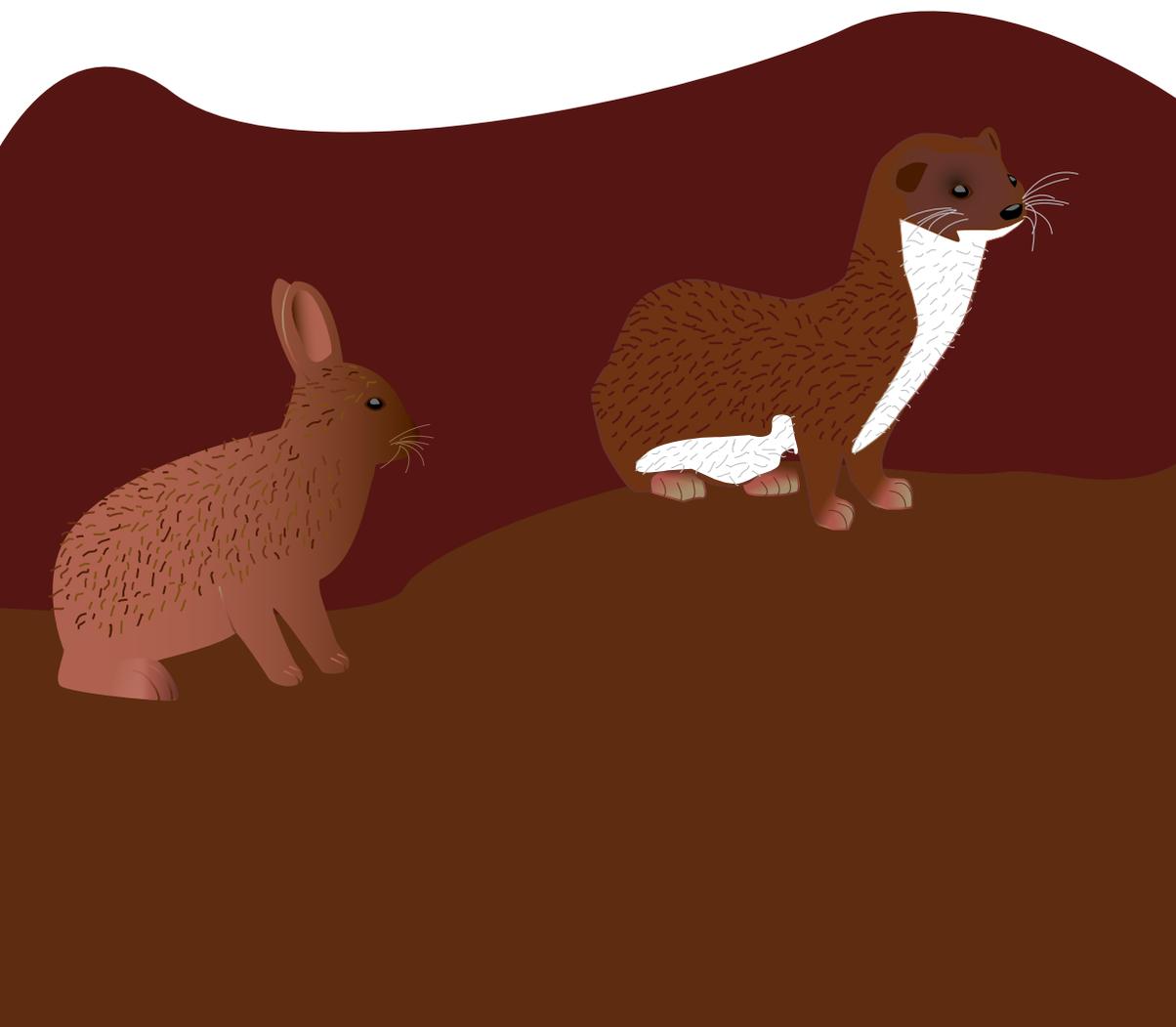
Aqui no Hemisfério Norte estamos no Outono. Começou em Setembro, e agora já se nota que os dias estão mais curtos. Nota-se bem! Principalmente aqui mais a norte, onde estamos. Se calhar nos países mais a sul os dias ainda são um pouco maiores. Mas aqui já anoitece muito mais cedo. Quando vamos passear para os campos aqui perto de casa, a seguir às aulas, já não ficamos muito tempo. Não queremos voltar depois do pôr-do-sol, o campo fica muito escuro.

Também já se sente o vento mais frio. Mais umas semanas e talvez neve. Ou não. O tempo agora está diferente. Tínhamos sempre tanta neve nos meses de Inverno. Agora não. Nem sempre. No ano passado nevou tão pouco que nem deu para fazer bonecos de neve. É o planeta que está mais quente, e esse aquecimento faz com que o clima fique diferente. Invernos sem neve, Verões demasiado quentes. Ou demasiado frios. É a chuva que falta, ou que vem em demasia. Enfim... São as alterações climáticas.

Na escola falam-nos das alterações climáticas. E nós também as conhecemos, porque já vimos alguns estragos que causaram. Já nos tornaram a vida difícil. Como naquele ano em que quase não choveu e depois veio muito calor e vento forte. Uma parte da floresta aqui perto ardeu, e nós tivemos sorte porque o fogo não chegou às casas. Mas alguns telhados voaram, o que também não é bom. Houve também aquele outro ano em que veio uma tempestade muito grande. Não conseguíamos ir a quase nenhum lado porque as estradas estavam cobertas de água. E algumas famílias perderam tudo o que tinham cultivado. Foi difícil para elas, porque ficaram sem poder ir vender ao mercado, e para nós, os que gostamos de lhes comprar o que produzem — porque é mais saboroso!

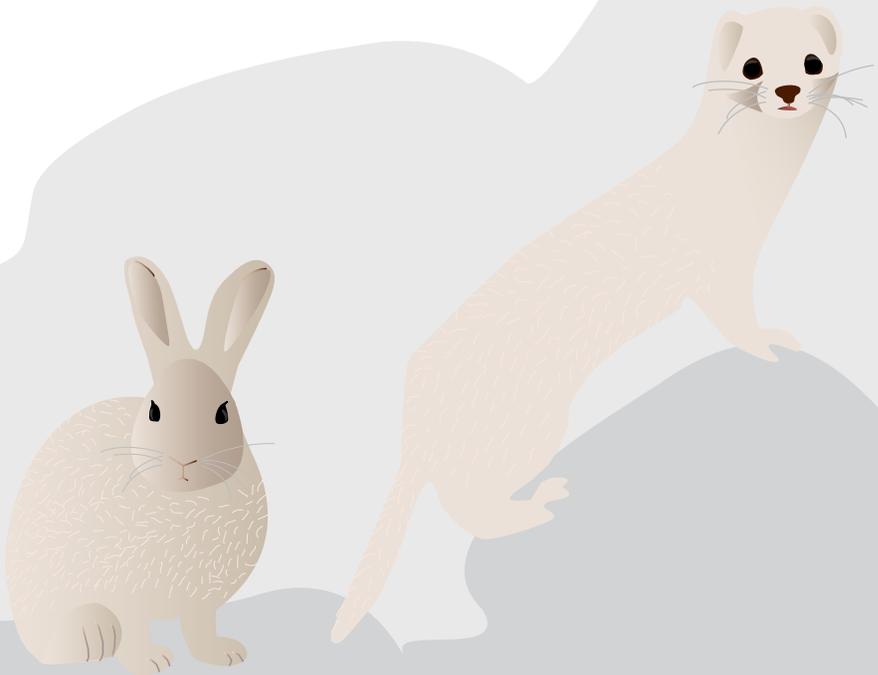
Para os outros seres vivos também não deve ser nada fácil viver com estas alterações climáticas. Habituar-se a viver bem num lugar e as alterações climáticas mudam esse lugar. E há espécies de seres vivos que são diferentes em lugares diferentes.

As lebres e as doninhas que vivem nos campos para onde vamos passear, por exemplo, são diferentes das que vivem noutros lugares. Em lugares que ficam mais a sul. Mesmo estando no Hemisfério Norte, como aqui, nos países mais a sul nunca neva tanto, os campos não ficam cobertos de neve durante os meses mais frios. Lá não interessa se é Verão ou Inverno, as lebres e as doninhas têm sempre a mesma aparência. Se as conseguirmos ver, vemo-las sempre com o pelo castanho. Podem ter umas zonas do corpo com pelo branco ou preto, mas se as quisermos desenhar, usamos mais o lápis castanho para as pintar.



Aqui não. Aqui elas vão mudando. E tanto podemos pintá-las com o lápis castanho como com o lápis branco. Porque elas mudam o pelo, como nós também perdemos cabelo (e não ficamos carecas!). Só que o pelo das lebres e das doninhas vai mudando de cor. Não como nos acontece a nós, que começamos a ter cabelo branco quando somos mais velhos. Não, a cor do pelo das lebres e das doninhas que vivem aqui nos campos vai variando ao longo do ano.

Durante os meses da Primavera e do Verão, quando os dias são maiores, têm o pelo castanho. E nos meses do Outono e do Inverno, quando os dias ficam mais curtos, têm o pelo branco. É como se a duração da luz do dia fosse um interruptor para mudar a cor do pelo! Os dias começam a ficar mais curtos, e o pelo começa a nascer branco. E nos Invernos com muita neve é muito difícil conseguirmos vê-las. Tal e qual como aprendemos: ficam camufladas se tiverem o pelo castanho quando não há neve e o pelo branco quando há neve.

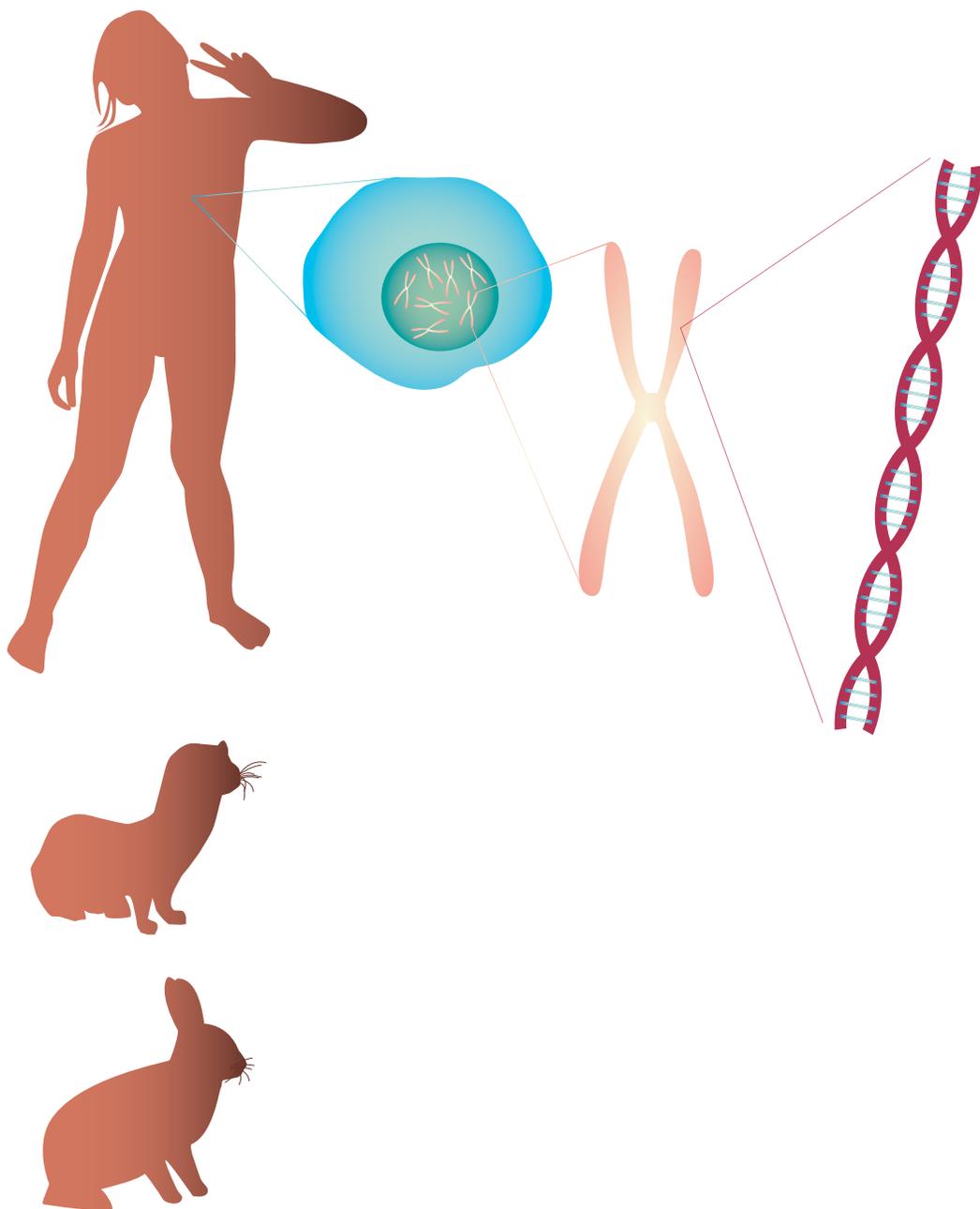


SER VIVO

CÉLULA

CROMOSSOMA

DNA



## Mas as alterações climáticas...

Nos Invernos como o do ano passado, quase sem neve, é fácil ver bem as lebres e as doninhas durante os passeios nos campos. Já não se conseguem camuflar. São uns pontos brancos na paisagem castanha. É como se os dias mais curtos as tivessem enganado: mudam a cor do pelo de castanho para branco na altura do ano em que se espera que haja neve, mas a neve não chega.

O pior é que nesses Invernos, os sem neve, as raposas ou as aves de rapina também conseguem ver bem as lebres e as doninhas com o seu pelo branco. E caçam-nas. São o seu alimento. Claro que todos os seres vivos precisam de se alimentar para viver. E muitos animais comem outros animais. São os predadores e as presas. Mas nestes Invernos, os Invernos sem neve, os predadores raposas ou aves de rapina comem mesmo muitas presas lebres e doninhas. E se houver muitos Invernos assim, sem neve, os predadores podem comer tantas lebres e doninhas que elas ficam tão poucas e podem nem conseguir ter as suas crias. Se isso acontecer, os nossos passeios nos campos não serão tão divertidos. Já não vamos tentar ver lebres e doninhas, porque provavelmente elas já não vão existir lá.

Se uma espécie desaparece de um lugar não é bom. E isso preocupa muitas pessoas... Cientistas, por exemplo.

Estas alterações climáticas, estas mudanças ambientais rápidas, fazem com que alguns seres vivos não consigam sobreviver nos locais onde sempre viveram. E não são só as lebres e as doninhas que ainda vemos quando vamos passear para os campos. Se o planeta continuar a aquecer, podem desaparecer muitos seres vivos. Muitos mesmo. Por isso é que aprendemos que precisamos de mudar muitos hábitos. E obrigar as empresas a mudar os delas. Mas também é importante conhecer melhor os seres vivos, saber como vivem bem no seu lugar e como poderão continuar a viver lá. O segredo pode estar dentro dos seus corpos, nas suas células, nos seus genes. Aquela espécie de receita para fazer seres vivos.



# “Todos diferentes e todos iguais”, dizem.

É verdade. Nós somos todos diferentes: mais altos, mais baixos, com cabelo loiro, com cabelo preto, com a pele mais clara, com a pele mais escura. Mas somos todos seres humanos. É a nossa espécie. É assim que somos todos iguais.

Com as lebres é igual. Todas as lebres da mesma espécie são iguais porque são dessa espécie. E são diferentes porque podem ser um bocadinho maiores, um bocadinho mais pequenas, com pelo castanho-escuro, com pelo castanho-claro. Há até lebres da mesma espécie que mudam o pelo para branco no Outono e outras que não, ficam sempre castanhas. E doninhas também. Doninhas da mesma espécie que mudam e que não mudam a cor do pelo no Outono. Isso anima um pouco as pessoas que se preocupam com o desaparecimento das lebres e das doninhas daqui dos campos. E de outros campos.

Quando essas pessoas são cientistas fazem muitas perguntas e querem saber muitas coisas sobre as lebres e as doninhas. Perguntam, por exemplo, se estudando os genes delas conseguem perceber se vão continuar a viver nos nossos campos mesmo que os Invernos continuem a vir sem neve.

Será que conseguem?

E como fazem isso?

Deve ser mais difícil e complicado que fazer aqueles puzzles de mais de 20 mil peças! Por isso é preciso ir trabalhando por partes.

Às vezes vejo cientistas aqui nos campos e começo a imaginar a conversa que podíamos ter, para eu saber mais sobre as lebres e as doninhas...

— Olá, cientista!

— Olá!

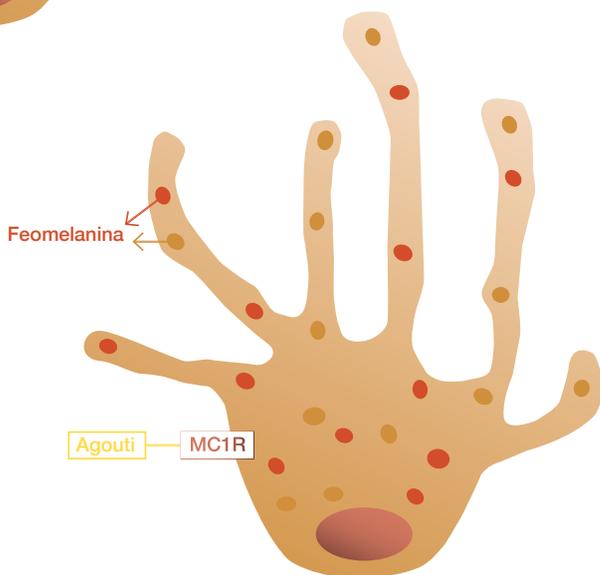
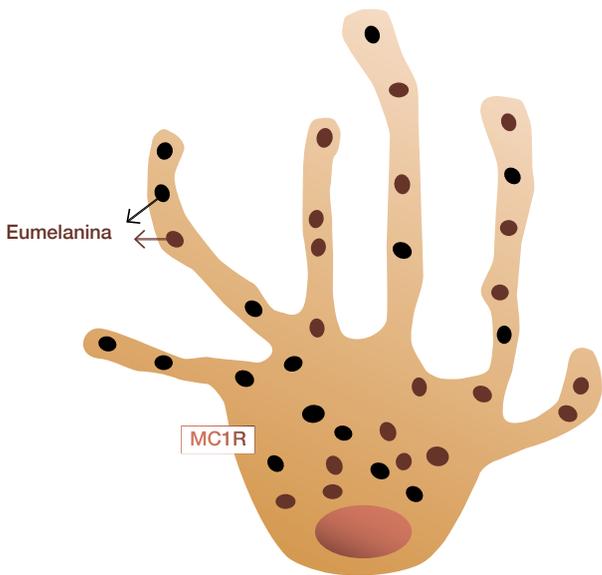
— Vivo aqui, ao pé destes campos. Já vos vi por lá a olhar as lebres e as doninhas. O que fazem?

— Estudamo-las para perceber como conseguem mudar a cor do pelo. E também para perceber se as lebres e as doninhas vão ser capazes de continuar a viver nestes campos se os Invernos forem mais quentes e secos, sem neve. Queres que te explique um bocado desse trabalho?

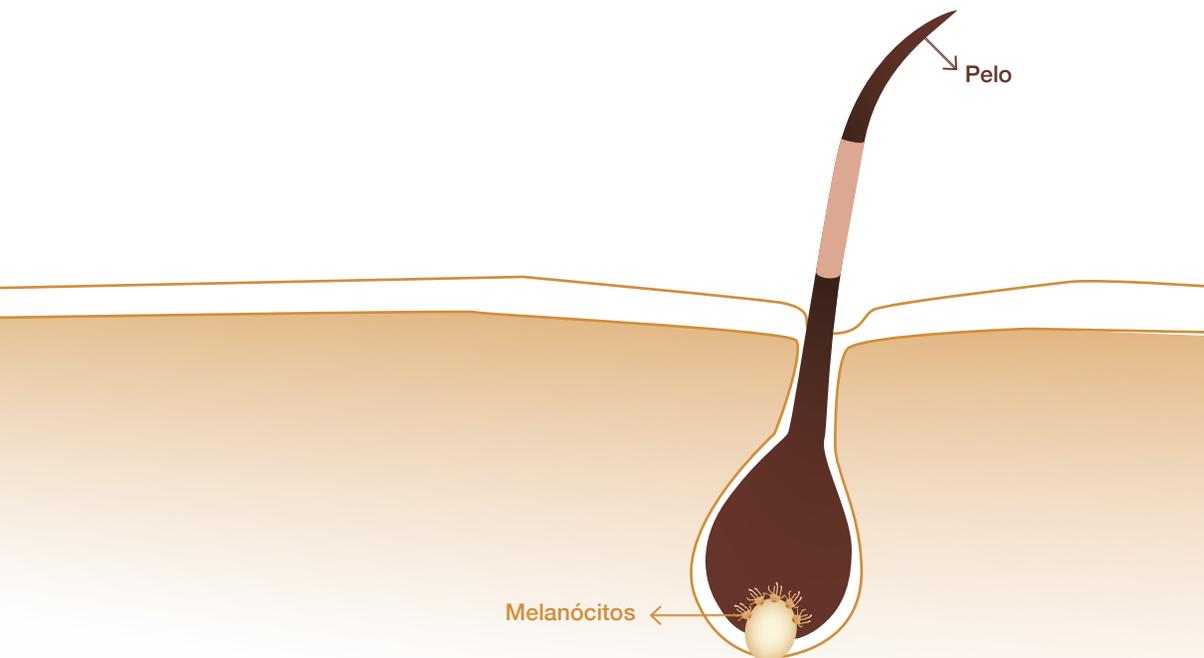
— Sim!

— Vou-te falar nos genes. São pedaços de informação que temos no corpo, nas células. Como se fossem receitas para fazer alguma coisa. Neste caso, procuramos descobrir qual é, ou quais são, as receitas para fazer a cor dos pelos nestas lebres e doninhas.

- E descobriram?
- A cor do pelo nestes mamíferos vem de um pigmento que nós também temos: a melanina. Nos pelos deles, e nos nossos também, há umas células especiais que se chamam melanócitos.
- Melanócitos tem a ver com melanina?
- Tem, pois! Os melanócitos são assim como uma fábrica de melanina. E a produção de melanina é controlada por genes.
- Quais?
- Por exemplo, o Agouti e o MC1R.



- Que nomes complicados!
- Eles funcionam de forma diferente, mas ambos os genes pertencem ao que chamamos de cascata de produção de melanina.
- Eu já vi uma cascata!
- Esta é um pouco diferente das cascatas de água. No entanto, chama-se assim porque há um conjunto de genes – e de produtos desses genes - que levam à produção de melanina. E sabias que há mais do que um tipo de melanina? E que também têm nomes complicados?
- Não! Que nomes?
- Vou-te falar de dois: eumelanina e feomelanina.
- São mesmo complicados! O que distingue essas melaninas? E o que têm a ver com os dois genes, o Agouti e o MC1R?
- De forma muito simples, dizemos que o Agouti é um gene antagonista do MC1R, ou seja, o Agouti consegue inibir o MC1R. Isto significa que quando o gene MC1R está mais ativo, a trabalhar sem a interferência do Agouti, ele leva à produção da eumelanina, que é o pigmento que dá a cor castanha aos pelos das lebres e das doninhas. E nossos, também! Sabias que somos mamíferos como as lebres e as doninhas?
- Sim, sabia! Já aprendi na escola. Mas e o que acontece quando o Agouti interfere com o MC1R?
- Quando o gene Agouti está mais ativo consegue inibir o gene MC1R. Nesse caso, já não se produz a eumelanina. Produz-se a feomelanina, que é um pigmento que dá uma cor mais clara aos pelos. E por vezes o Agouti impede mesmo a produção de melanina.



— E as lebres e as doninhas ficam com o pelo branco!

— Exatamente. Mas sabias que há lugares onde elas ficam sempre com o pelo castanho?

— Não! E isso é bom? Quer dizer, não deve ser muito bom ter o pelo branco nestes Invernos em que quase não neva...

— Pois, o que sabemos é que as lebres que têm o pelo branco durante os Invernos sem neve morrem mais. São mais caçadas pelos seus predadores, provavelmente porque é muito mais fácil eles conseguirem vê-las. Mas se mantiverem o pelo castanho, conseguem camuflar-se melhor. E isso é uma vantagem. Por isso andámos a estudar os animais que não mudam a cor da pelagem.

— E o que descobriram?

— Resumidamente, descobrimos que nas lebres, nos animais que ficam sempre castanhos, o gene Agouti não está muito ativo. E, como te expliquei, isso faz com que o gene MC1R esteja mais ativo e seja produzida a eumelanina, ou seja, que o pelo nasça com a cor castanha.

— E nas doninhas?

— Nas doninhas é diferente. E não sabemos ainda bem o porquê de os animais não mudarem a cor do pelo de castanho para branco. O que sabemos é que nestes animais há uma alteração no gene MC1R, uma mutação num aminoácido.

— Aminoácido?

— Sim. Os aminoácidos são como as missangas dos colares, só que para construir proteínas, que muitas vezes são chamadas de “tijolos do corpo”. Então, neste caso, descobrimos que há uma alteração num aminoácido do gene MC1R que faz com que haja uma alteração na estrutura da proteína MC1R. Ainda não se sabe o que isto causa, mas pensamos que esta alteração faz com que o MC1R fique menos inibido pelo Agouti e por isso mais ativo na produção de eumelanina. Ou seja, faz com que o MC1R produza o pigmento mais escuro, que dá a cor castanha ao pelo.

— E assim conseguem ajudar as lebres e as doninhas a não serem tão comidas pelos predadores nos Invernos sem neve?

— Era bom, mas ainda não chegámos a isso.

— Então? Mas não é importante o que já sabem?

— É importante, sim. Por exemplo, ajuda-nos a perceber se há mais ou menos animais a não mudar a cor do pelo de castanho para branco. E se houver mais animais a manter o pelo castanho durante o Inverno, isso pode significar que as populações de lebres e doninhas dos locais onde agora há menos neve, como as destes campos, se estão a adaptar às alterações climáticas.

— E se vão conseguir sobreviver mesmo que não haja neve!

— Exato. E podemos fazer isso todos os anos, como uma monitorização genética, ou prever o futuro.

— Prever o futuro?

— Sim. Mas não é como nos filmes. O que fazemos é usar os resultados que temos agora - da genética e do clima - para construir um modelo que consiga prever as mudanças nas populações de lebres e doninhas ao longo dos anos, das décadas. Para vermos se há e qual será a probabilidade delas se adaptarem a estas novas condições do clima.

— E como têm os resultados do presente? Vêm aqui apanhar lebres e doninhas?

— Sim e não. Hoje em dia, há técnicas que nos permitem estudar os genes de muitos animais sem os perturbarmos. Uma das vantagens do trabalho que temos feito é que podemos estudar os genes das lebres e das doninhas em qualquer altura do ano e até sem as vermos. Sabes como?

— Não...

— Apanhando o seu cocó.

— Oh! A sério? O cocó?

— Sim. O cocó, ou os dejetos, podem ser estudados em laboratório para sabermos muitas coisas sobre os animais. O que comem, por exemplo. Mas também conseguimos tirar de lá informação sobre estes genes Agouti e MC1R.

— Uau!

— Chamam-se “técnicas não-invasivas”, porque não precisamos de ver nem de perturbar os animais para ficar com um bocadinho deles.

— E isso é bom, para não os assustarem.

— Mas há outras formas de conseguirmos informação das lebres e das doninhas sem as perturbar, sabias? E que até nos permitem viajar ao passado?

— Ao passado?

— Sim. Usando amostras de museus. Com o avanço da tecnologia conseguimos estudar os genes todos de exemplares de animais que estão há muitos anos nos museus, nas coleções de História Natural. Animais que eram brancos ou castanhos no Inverno! E agora que sabemos onde procurar as alterações, podemos usar essa informação para perceber alterações no passado das populações ou espécies, usando os exemplares de museus.

— Dos museus?

— Sim. As coleções de seres vivos dos museus não servem só para aprendermos quando visitamos as exposições. São também muito importantes para a ciência. Cientistas de todo o mundo podem usar esses exemplares que estão guardados nos museus e estudar muitas coisas sobre eles. Como nós fizemos. Nós estudámos as variações nos genes que estão ligados à variação na cor do pelo das lebres e das doninhas.

— O gene Agouti e o gene MC1R!

— Muito bem!

— E agora?

— Agora vamos continuar a estudar estes e outros genes e mais espécies de lebres e doninhas. Vamos querer saber mais sobre como

funcionam aquelas alterações que já identificámos, se há outras, qual a relação entre elas, e entre elas e a mudança ou não mudança da cor da pelagem ao longo do ano, ... Enfim, ser cientista é estar sempre a querer saber mais!

Não sou cientista, mas também quero saber sempre mais. E imagino estas conversas quando olho para as lebres e as doninhas aqui nos campos. E penso naqueles Invernos sem neve. E elas todas brancas. Agora sei que talvez possam deixar de mudar a cor do pelo. E se ficarem sempre castanhas talvez consigam sobreviver mais nesses Invernos, camufladas na paisagem sem neve.

E agora, quando voltar a ir passear para os campos aqui perto, já vou olhar de maneira diferente para as lebres e para as doninhas. Vou pensar nos melanócitos, e nos genes Agouti e MC1R, e nos pigmentos que fazem com que o pelo mude ou não mude a cor ao longo do ano. E vou pensar nas alterações climáticas. E aprender mais sobre o que as causa, sobre as suas consequências e sobre o que podemos fazer para que o planeta não continue a aquecer tanto.

## AQUECIMENTO GLOBAL E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Muitas atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis ou a deflorestação, têm causado um aumento da temperatura média global em cerca de 1°C. A medição da temperatura global toma como referência a temperatura medida no período pré-industrial. Este aumento da temperatura está associado a várias mudanças no clima, e principalmente à frequência e intensidade de fenômenos extremos, como períodos de calor ou frio mais elevados face ao registrado em alturas anteriores. No entanto, estima-se que a temperatura global possa aumentar ainda mais, até cerca de 1,5°C, com o consequente agravamento dos efeitos.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*) das Nações Unidas, tem monitorizado regularmente o conhecimento científico sobre alterações climáticas, avaliando os seus impactos atuais e riscos futuros. Os relatórios produzidos por este Painel tornam-se, assim, instrumentos importantes para o conhecimento atualizado sobre os fatores que causam o aquecimento global, os impactos e os riscos das alterações climáticas e as opções para a mitigação e adaptação a esses impactos, procurando reduzir esses riscos.

As alterações climáticas, e consequentes mudanças ambientais rápidas, colocam inúmeros desafios ao ambiente e à sobrevivência das espécies, incluindo o próprio ser humano. Os seus impactos negativos são variados, indo da escala local à global, com ligações diretas e indiretas a algumas das mais graves ameaças às populações humanas, tais como a atual pandemia COVID-19 ou a recente declaração de uma grave crise alimentar impulsionada pelas alterações climáticas em Madagáscar pelo Programa Alimentar Mundial da ONU. Em relação à investigação que aqui se descreve, os fenômenos climáticos extremos previstos pelo IPCC traduzem-

se em extremos de calor na maioria das regiões habitadas, o que poderá estar já associado à ocorrência de Invernos mais quentes e secos, sem neve, em regiões onde historicamente se registam Invernos com queda de neve persistente.

As alterações climáticas desafiam a capacidade das espécies de persistir em nichos climáticos aos quais estavam adaptadas, acelerando as extinções e a degradação dos ecossistemas, e causando uma crise de biodiversidade sem precedentes mediada por atividades humanas. Projeções realistas sugerem que o mundo está a perder biodiversidade a um ritmo 100 a 1000 vezes superior à taxa de extinção natural, com perdas de alcance superiores a 50% para 49% dos insetos, 44% das plantas e 26% dos vertebrados, segundo as estimativas atuais de aquecimento global até 2100.

A redução dos fatores abióticos das alterações climáticas é uma missão importante para reduzir os impactos negativos sobre a biodiversidade. No entanto, compreender as adaptações biológicas e como a evolução pode mediar a resistência das espécies às alterações climáticas é fundamental para os esforços de mitigação da crise da biodiversidade.

Embora os impactos das alterações climáticas na biodiversidade tenham sido tradicionalmente quantificados através de censos de extinção de espécies, a sobrevivência das espécies depende da sua capacidade de adaptação às condições em rápida mutação. E esta capacidade adaptativa está ancorada sobretudo na diversidade genética permanente, em particular na variação adaptativa permanente. Mas será que podemos prever se e como as espécies se adaptarão às alterações ambientais? Este é um dos mais notáveis esforços modernos de investigação sobre biodiversidade.

## LEBRES E DONINHAS E SUA DISTRIBUIÇÃO

Lebres e doninhas são nomes genéricos que se dão a diferentes espécies de mamíferos de pequeno-médio porte que habitam quase todas as regiões do planeta. No caso das doninhas, em português esta designação é aqui utilizada para designar a doninha anã, a doninha de cauda longa e o arminho.

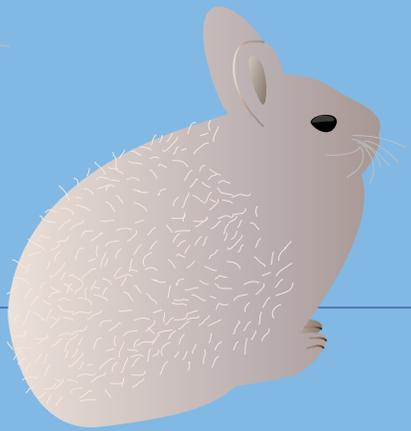
As lebres pertencem ao género *Lepus*, família Leporidae e ordem Lagomorpha. Usando os nomes comuns, os lagomorfos incluem, além das lebres, os coelhos e as pikas; lebres e coelhos são também designados leporídeos. As espécies de lebre estudadas nesta linha de investigação — a lebre variável (*Lepus timidus*), a lebre de cauda branca (*Lepus townsendii*) e a lebre americana (*Lepus americanus*) — não vivem em Portugal.

A lebre variável é uma espécie bem-adaptada a habitats frios e montanhosos, podendo ser encontrada nas regiões norte da Europa e Ásia, e mais a sul, nos Alpes. A lebre de cauda branca é uma espécie nativa da América do Norte, habitando tanto planícies como regiões montanhosas do centro e oeste. A lebre americana é também nativa da América do Norte, mas a sua distribuição estende-se até às regiões boreais, e habitam florestas boreais ou montanhosas. As lebres são animais herbívoros e presas preferenciais de várias espécies de mamíferos, como raposas ou linces, e aves, como aves de rapina.

As doninhas pertencem aos géneros *Mustela* e *Neogale*, família Mustelidae e ordem Carnivora. Os carnívoros são uma ordem muito variada, que inclui cerca de 10 famílias e mais de 270 espécies terrestres, aquáticas e marinhas. A família dos mustelídeos é considerada a maior família da ordem, com cerca de 70 espécies. As espécies estudadas nesta investigação são a doninha anã (*Mustela nivalis*), o arminho (*Mustela erminea*) e a doninha de cauda longa (*Neogale frenata*).

A doninha anã e o arminho são espécies nativas da Europa, incluindo Portugal, e do norte de África, América e Ásia, mas habitam também o sul da Ásia e a Nova Zelândia. A doninha de cauda longa é nativa

da América, ocupando a maior parte das regiões norte e centro até partes do sul. A doninha anã pode ser encontrada em habitats muito diversos, de zonas arbustivas e montanhosas a parques e jardins. O arminho tem preferência por zonas de bosque, mas pode ser encontrado numa vasta gama de habitats, de florestas a prados ou margens de rios. A doninha anã de cauda longa também ocupa uma grande variedade de habitats, de bosques a prados ou pântanos, preferencialmente perto de água. São espécies que se alimentam de outros animais, especialmente roedores, mas também lagomorfos, aves, répteis, anfíbios ou insetos. São presa de outros mustelídeos, outros carnívoros e aves de rapina.



# LEBRES E DONINHAS E CAMUFLAGEM

Muitas espécies de seres vivos exibem uma coloração semelhante ao habitat em que vivem, tornando-se visualmente crípticos em relação ao fundo. Por tornar estes animais mais difíceis de serem vistos, é uma característica que lhes confere proteção em relação aos seus predadores e, em alguns casos, quando o animal é simultaneamente presa e predador, também favorece a predação. Esta característica é conhecida como coloração críptica.

A coloração ou camuflagem críptica dos animais é uma adaptação que diminui o risco de detecção, sobretudo pelos predadores, pois a correspondência entre coloração da presa e o ambiente minimiza a informação visual que os predadores recebem. Esta capacidade de se esconder de predadores e/ou presas através da correspondência da cor de fundo está fortemente ligada à sobrevivência diferencial em função das condições do habitat.

Mais de 20 espécies de mamíferos e aves passam por mudanças de cores sazonais na sua pelagem ou plumagem, desde o castanho do Verão ao branco do Inverno. Estas mudanças são geralmente controladas pelo fotoperíodo, e permitem que estes animais mantenham a camuflagem durante todo o ano em ambientes periodicamente cobertos de neve, diminuindo a probabilidade de serem vistas pelos seus predadores e/ou presas.

Esta notável característica anual flexível deverá ser particularmente influenciada pelas alterações climáticas, uma vez que reduções dramáticas na duração da cobertura de neve (uma das marcas mais fortes do aquecimento global) conduzirão a uma maior desadequação das pelagens brancas de Inverno sobre fundos sem neve. Isto porque, embora a mudança de cor sazonal seja desencadeada pelo fotoperíodo, as condições de habitat que determinam o seu potencial adaptativo — isto é, a cobertura de neve sazonal — são fortemente afetadas pelo aquecimento global, que se prevê induzir uma maior desadequação e consequentemente taxas de mortalidade mais elevadas no futuro.

Estudos anteriores mostraram que a discrepância de cores leva a uma predação e mortalidade mais elevadas, o que poderá causar declínios populacionais importantes no futuro. No entanto, a mudança de cor sazonal varia dentro de muitas espécies, ou seja, é polimórfica. Nestas espécies há populações onde os indivíduos mudam de cor e outras onde os indivíduos permanecem castanhos no Inverno. E há também zonas de transição, onde as duas cores de Inverno, branco e castanho, existem. A variação desta característica é mantida pela seleção ligada à cobertura de neve.

O polimorfismo da mudança sazonal da cor da pelagem está fortemente dependente do polimorfismo genético, o qual pode fornecer a variação permanente necessária para que a seleção atue e, portanto, meios para uma rápida adaptação das populações onde a mudança sazonal da coloração ocorre. Assim, é necessário compreender a base genética precisa, a evolução e o potencial adaptativo da variação sazonal da cor do pelo entre espécies e entre populações distintas dentro das espécies.

As zonas de transição de coloração de Inverno são laboratórios naturais privilegiados para estudar a evolução de uma adaptação natural e o potencial de mudança evolutiva em resposta às rápidas alterações climáticas e de habitats em mudança. Por outras palavras, são sistemas valiosos para estudar a adaptação potencial de polimorfismos de características influenciadas pelas alterações climáticas. O projeto que aqui se descreve pretendeu contribuir para esta compreensão estudando seis espécies de mamíferos e diferentes populações com e sem mudança de cor sazonal.



# BASES GENÉTICAS DA MUDANÇA SAZONAL DA COR DA PELAGEM E GENÉTICA POPULACIONAL

Este projeto é parte de uma linha de investigação com o objetivo de estudar a base genética do polimorfismo sazonal da cor da pelagem em três espécies diferentes de lebres e de doninhas. Procurou-se analisar a evolução e genómica populacional deste polimorfismo de cor, que pode ter evoluído de forma independente entre espécies. Os principais resultados neste momento mostram que há variação em dois genes que pertencem à cascata de produção de melanina — o gene *Agouti* e o gene *MC1R* — e que esta variação é diferente entre as espécies analisadas de cada grupo de mamíferos - lebres e doninhas - e entre os grupos.

O gene *Agouti* é responsável pela produção da proteína *Agouti*, que regula a pigmentação da pele e pelo em mamíferos. No ser humano, por exemplo, este gene localiza-se no cromossoma 20. A proteína *Agouti* interage com o *MC1R*, alterando a sua atividade. Esta proteína é produzida pelo gene com o mesmo nome, gene *MC1R*, que também existe em diversos mamíferos. No ser humano, por exemplo, o gene *MC1R* localiza-se no cromossoma 16.

A proteína *MC1R* localiza-se na membrana celular dos melanócitos, células especializadas na produção de melanina, o pigmento que dá cor à pele e pelos em mamíferos. Estas células podem, assim, ser encontradas na pele e nos folículos do pelo. Há dois grandes tipos de melanina: a eumelanina, com cores mais escuras, do castanho ao preto, e a feomelanina, com cores mais claras, do bege ao branco, incluindo o ruivo. A produção de melanina acompanha o crescimento dos pelos, com pulsos de produção que se traduzem em bandas de pigmentação.

A produção de melanina depende da interação entre a proteína *MC1R* e outras proteínas. Esta pode ser ativada por proteínas da família das hormonas estimuladoras de melanócitos, levando à produção de eumelanina. Ou seja, de pelos de cor mais escura. Mas a expressão da proteína *MC1R* pode ser

inibida pela proteína *Agouti*. Nesse caso, produz-se feomelanina e os pelos crescem com cor mais clara, podendo a produção de melanina ser inibida.

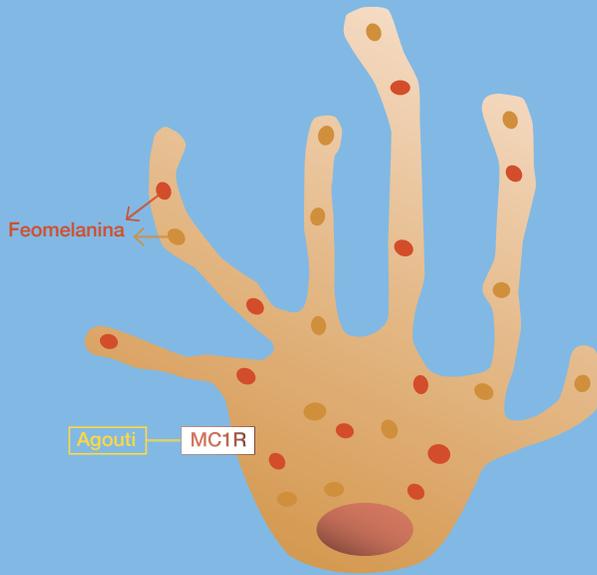
Na lebre americana e na lebre variável, as mutações responsáveis pela mudança da cor da pelagem foram identificadas no gene *Agouti*. Nos indivíduos que não mudam a cor da pelagem, há subprodução da proteína/sub-expressão do gene *Agouti*, o que faz com que o *MC1R* esteja mais ativo e seja produzida a eumelanina, ou seja, que se expresse a cor castanha.

Na doninha anã, as alterações foram identificadas no gene *MC1R*. Nesta espécie, nas populações que não mudam a cor da pelagem, há uma mutação que leva a uma alteração num aminoácido e, consequentemente, na estrutura da proteína. Ainda não se sabe o que isto causa, mas a hipótese de trabalho é que a proteína *MC1R* fique menos inibida pela proteína *Agouti*, e por isso mais ativa na produção de eumelanina.

Nas lebres, os resultados evidenciam ainda que a evolução desta característica foi influenciada pela introgressão, ou seja, pela troca de genes entre espécies diferentes através de hibridização e consequente incorporação de alguns genes de uma espécie no genoma de outra. Neste caso, em duas espécies de lebre, a lebre variável e a lebre americana, as mutações para não mudar a cor da pelagem no Outono foram adquiridas por introgressão de espécies com uma alteração: as populações de lebre variável das Ilhas Faroé receberam a característica de lebres Ibéricas (*Lepus granatensis*) e as populações de lebre americana receberam de lebres de cauda preta (*Lepus californicus*).

Finalmente, estes trabalhos mostram a repetibilidade da evolução: nas lebres americana e variável, o gene responsável pelas diferentes cores de Inverno é o mesmo, o *Agouti*, mas as alterações genéticas resultaram de processos independentes

de introgressão em cada espécie. E considerando simultaneamente os dois grupos de espécies, as espécies de lebre e as de doninhas, verificamos que as alterações são no mesmo sistema genético — no mesmo “caminho” para a produção de melanina — mas em genes diferentes: Agouti e MC1R. A investigação em curso irá revelar se nas outras espécies de lebre e doninha outros genes podem estar envolvidos.



## CONTRIBUIÇÕES DESTES TRABALHO

Mas afinal... Para que serve saber isto?  
Que contributo pode dar este  
trabalho?

As alterações climáticas estão a causar profundas mudanças nos habitats das espécies, com impactos maiores naquelas que exibem características adaptadas a condições particulares do ambiente. Nesses casos, mudanças rápidas no ambiente podem impedir a sobrevivência futura dessas espécies ou populações. As populações de lebres e doninhas que exibem coloração sazonal da cor da pelagem como resposta aos Invernos com neve persistente estão ameaçadas pela ausência de neve devido ao aquecimento global.

A cor sazonal da pelagem e respetivas variações surgiram presumivelmente em resposta à mesma pressão seletiva — camuflagem sazonal relacionada com a neve. Assim, podemos compreender melhor como as espécies se poderão adaptar no futuro se compreendermos como se adaptaram no passado. A identificação dos genes e mutações envolvidos na variação observada nesta característica já permite um melhor acompanhamento e estudo destas populações em três escalas temporais: presente, passado e futuro.

No presente, podemos monitorizar geneticamente as populações usando mesmo técnicas não invasivas (ou seja, analisando dejetos), que minimizam o impacto destes estudos. Com amostragens em qualquer altura do ano, podemos perceber se a frequência de animais com pelagem castanha nos locais sem neve está ou não a aumentar. Por outras palavras, podemos avaliar se as populações ou espécies estão a responder às alterações climáticas, ou seja, se há adaptação às novas condições do clima.

Também se pode usar os marcadores genéticos identificados neste projeto para perceber alterações no passado das populações ou espécies, usando exemplares de museus. As técnicas modernas de

análise de DNA permitem o uso de amostras em que esta molécula possa estar degradada ou mesmo contaminada, como acontece muitas vezes com o DNA de exemplares museológicos. Neste projeto foram usadas amostras de exemplares de museus para ajudar a identificar as mutações responsáveis pela mudança sazonal da cor da pelagem nas populações de lebres e doninhas estudadas. Os resultados obtidos ajudam, assim, a realçar a importância das coleções museológicas para o estudo da biodiversidade.

Com estes resultados poderemos também tentar prever o futuro destas populações. Esta informação genética pode ser usada para construir modelos preditivos. Deste modo, usando os dados do presente, poderemos tentar perceber se a seleção natural pode “acompanhar” as alterações climáticas. Ou seja, se a frequência de indivíduos que permanecem com o pelo castanho aumenta na mesma proporção que a frequência de Invernos mais quentes e sem neve.

## JOGO DA SELEÇÃO NATURAL

Porque será que há lebres e doninhas que mudam a cor do pelo entre estações do ano? Será que nascer com esta característica tem alguma vantagem? E as alterações climáticas terão alguma influência sobre esta característica?

Uma forma de respondermos a estas questões é simulando a ação da seleção natural sobre a característica “mudança sazonal da cor da pelagem”.

Sugerimos uma atividade em três momentos, adaptando-a à idade e características das crianças ou jovens participantes. O jogo sugerido foi já usado com diferentes grupos e em diferentes contextos, desde crianças a frequentar a educação pré-escolar a adultos a participar em festivais de ciência. Para mais detalhes sobre a atividade e usos prévios, convidamos à leitura dos artigos e livros listados em “Sugestões de recursos educativos”.

No primeiro momento, promove-se uma discussão geral sobre as alterações climáticas, tentando perceber o que as crianças ou jovens sabem sobre o tema. Este momento pode ser também aproveitado para debater a natureza e os métodos da ciência, enfatizando a importância da colaboração no avanço do nosso conhecimento.

No segundo momento, apresenta-se o modelo de estudo como um exemplo de impacto das alterações climáticas sobre a biodiversidade. Esta apresentação usa primeiro as imagens de lebres e doninhas com a pelagem branca de Inverno num fundo coberto de neve, discutindo-se as vantagens desta cor nesse habitat e introduzindo ou relembrando o conceito de camuflagem. De seguida, usam-se as imagens de lebres e doninhas com a mesma cor da pelagem mas num fundo sem neve, realçando o claro desencontro entre a cor do pelo e o ambiente circundante. Depois desse debate, convidam-se as crianças ou jovens a

avancar hipóteses sobre a história evolutiva destes indivíduos, ou seja, como terá surgido a mudança para pelo branco no Inverno, e a prever o seu futuro caso as alterações climáticas diminuam a cobertura de neve nos seus habitats. As hipóteses são então testadas usando um jogo que permite testar previsões de evolução por seleção natural usando uma abordagem de aprendizagem ativa.

No terceiro momento, usam-se os resultados do jogo para uma discussão final, trazendo para o debate as relações entre as alterações climáticas e a adaptação e sobrevivência das espécies, centrando-se tanto nos possíveis impactos das alterações climáticas sobre as espécies estudadas como sobre as populações humanas.

## O JOGO

### **Materiais:**

- duas caixas opacas
- um conjunto de contas em tons de castanho e verde
- um conjunto de contas brancas
- discos coloridos (6 cores diferentes: 5 preferencialmente em tons de castanho, bege e preto; 1 deve ser branco)

### **Significado dos materiais e papel de quem participa no jogo:**

- as contas em tons de castanho e verde são um determinado habitat sem neve
- as contas brancas são o mesmo habitat, mas com neve
- os discos são indivíduos de uma espécie de lebre ou doninha que habitam esse habitat
- os discos brancos são os indivíduos que mudam a cor do pelo entre castanho nos meses da Primavera e Verão e branco nos meses de Outono e Inverno
- cada participante é o predador desses indivíduos (por exemplo, uma raposa)

**NOTA:** se não encontrar contas e discos com estas cores, o jogo também funciona com outras cores (por exemplo, um conjunto de contas coloridas e um conjunto de contas de apenas uma cor; uma das cores dos discos tem que ser idêntica à cor deste último conjunto)

### Preparação:

Numa das caixas colocam-se o conjunto de contas em tons de castanho e verde e na outra coloca-se o conjunto de contas brancas. As contas devem encher cerca de 2/3 da caixa. Guarda-se a caixa das contas em tons de castanho e verde, deixando a outra numa mesa ou superfície plana.

Separaram-se 6 discos de cada cor. Dispõem-se os discos ao lado da caixa de contas brancas.

### Início do jogo:

Estamos no Inverno, está frio e tem nevado muito. Colocamos os discos que separámos dentro da caixa com as contas brancas e misturamos.

Três participantes têm cinco segundos para, à vez, tentarem apanhar o maior número de discos que conseguirem.

Disponer os discos que foram apanhados numa parte da mesa e tirar da caixa os que lá ficaram, dispondo-os noutra parte da mesa.

Os discos que foram apanhados “morreram”; os que ficaram na caixa “sobreviveram”.

Observar os dois grupos e verificar as diferenças entre eles:

Houve alguma cor que foi mais caçada?

As cores que “morreram” e as que “sobreviveram” têm alguma relação com as cores do meio?

Será que repetindo a experiência teríamos grupos com composição semelhante?

Provavelmente, os discos menos caçados são os de cor branca. E a sua relação com a cor do meio leva-nos a debater o conceito de camuflagem. Deste modo, a resposta à terceira pergunta permite que se coloque uma hipótese – a de que os animais que têm a cor branca neste habitat estão mais protegidos dos seus predadores – que será testada continuando o jogo.

### Continuar o jogo — testar a hipótese de que a mudança sazonal da cor do pelo é vantajosa:

Para continuar a jogar, simulamos a geração seguinte atribuindo 2 filhos a cada disco que “sobreviveu” e retirando estes sobreviventes do jogo. Ou seja, a segunda geração é composta apenas pelos filhos da primeira geração. Por exemplo, se sobreviverem 6 discos brancos, 2 pretos e 3 beges, colocam-se na caixa 12 discos brancos, 4 pretos e 6 beges.

Mais uma vez, fazem-se 3 rondas de predação, caçando os discos que estão dentro da caixa, observamos os grupos dos que “morreram” e dos que “sobreviveram” e tentamos responder às mesmas questões, agora podendo também comparar as cores que foram mais e menos caçadas nas duas gerações:

Foram as mesmas? Provavelmente sim!

Há alguma cor que está a aumentar na população? Provavelmente sim! A branca. Ou seja, a hipótese da vantagem da mudança da cor para branco parece confirmar-se.

E se repetirmos a simulação da 3ª geração com nova ronda de predação, provavelmente irão ficar apenas discos brancos, mostrando que os indivíduos com esta característica são menos caçados e por isso têm mais oportunidades para deixar filhos também brancos - a frequência de discos brancos aumenta a cada nova geração, enquanto a frequência das outras cores diminui. Ou seja, o mecanismo evolutivo que muito provavelmente está a influenciar a evolução desta característica nesta população de discos é a seleção natural.

Mas... o que poderá acontecer a esta população se as alterações climáticas causarem uma acentuada redução da cobertura de neve?

Provavelmente, o debate será orientado no sentido de uma nova hipótese, a de que ter a cor branca no Inverno deixa de ser vantajoso. Ou seja, os indivíduos que mudam a cor do pelo para branco no Inverno perdem o efeito de camuflagem e passam a ser mais predados. Mais uma vez, esta hipótese pode ser testada continuando o jogo.

**Continuar o jogo — testar a hipótese do impacto das alterações climáticas sobre esta população:**

Estamos no Inverno, mas não está muito frio e quase não neva.

O jogo recomeça com a caixa que tem as contas em tons de castanho e verde e os discos que sobreviveram na última geração após as rondas de predação, que serão todos ou quase todos brancos.

Simula-se uma nova ronda de predação, separam-se os discos que “morreram” e os que “sobreviveram” e observa-se o resultado:

Conseguiram caçar muitos discos de cor branca?

No caso de haver discos de outras cores, as cores que “morreram” e as que “sobreviveram” têm alguma relação com as cores do meio?

Será que repetindo a experiência os discos de cor branca iriam continuar a ser caçados em grande número?

As respostas às duas primeiras perguntas deverão confirmar a hipótese de que a mudança sazonal da cor do pelo é uma característica que deixa de ser vantajosa num cenário de diminuição da cobertura de neve. E provavelmente a resposta à terceira pergunta é sim, e pode ser testada com uma nova ronda de predação.

**Chegando a este ponto, e dependendo do grupo, pode-se debater:**

— a importância de se fazer a monitorização regular destas populações, para perceber se ou como estão a ser afetadas pelas alterações climáticas ao longo do tempo;

— a importância das populações com indivíduos que não mudam a cor do pelo sazonalmente, e que poderão contribuir para a sobrevivência da espécie;

— a relevância do conhecimento sobre evolução biológica para melhor compreendermos a evolução de características genéticas e os impactos das atividades humanas sobre as espécies;

— outros impactos das alterações climáticas, incluindo exemplos próximos e que afetem também as populações humanas.

## JOGO INTERDISCIPLINAR

E que tal usar esta investigação para explorar conteúdos curriculares de forma interdisciplinar? Este é o desafio que propomos com um jogo de tabuleiro inspirado no Jogo da Glória.

Ao longo das várias casas encontram-se ilustrações relacionadas com o projeto que aqui se descreve, e que motivam um conjunto de tarefas que cada jogador/a ou equipa deve completar, desde responder a perguntas a criar uma nova ilustração ou um movimento que represente um dos animais relacionados com esta investigação.

Deixamos algumas sugestões de tarefas, e convidamos-vos a pensar em novas tarefas e a partilhá-las connosco: [ritacampos@ces.uc.pt](mailto:ritacampos@ces.uc.pt) (Rita Campos) ou [jmeloferreira@cibio.up.pt](mailto:jmeloferreira@cibio.up.pt) (José Melo-Ferreira).

## O JOGO

### Materiais:

- tabuleiro do jogo [[https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science\\_Society/Livro\\_Mudar/Tabuleiro.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science_Society/Livro_Mudar/Tabuleiro.pdf)]
- dado de 6 faces [[https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science\\_Society/Livro\\_Mudar/Dado.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science_Society/Livro_Mudar/Dado.pdf)]
- cartas com as instruções das casas especiais [[https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science\\_Society/Livro\\_Mudar/Cartas.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science_Society/Livro_Mudar/Cartas.pdf)]
- peões [[https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science\\_Society/Livro\\_Mudar/Peoes.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science_Society/Livro_Mudar/Peoes.pdf)]

### Preparação:

- Imprimir o tabuleiro em tamanho A4 ou A3, preferencialmente a cores.
- Imprimir, recortar e construir o dado.
- Imprimir as cartas com as tarefas das casas especiais.
- Imprimir, colorir e recortar os peões (o ficheiro tem apenas um peão; imprimir tantos quantos os necessários: 1 por jogador/a ou 1 por equipa).
- Colocar o tabuleiro numa mesa ou superfície plana e distribuir os peões.

### Como jogar:

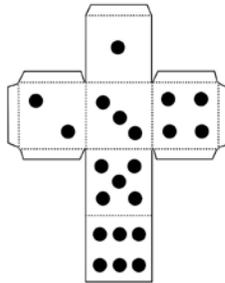
Cada jogador/a ou equipa lança o dado. Começa a jogar quem tirar o número maior. A ordem dos/as restantes jogadores/as ou equipas pode ser determinada, por exemplo, pela sequência (decrecente) de números que saíram nos dados.

O tabuleiro tem 55 casas com ilustrações alusivas à investigação que aqui se descreve. Cada jogador/a ou equipa avança o número de casas correspondente ao número que saiu no dado e passa a vez ao/a jogador/a ou equipa seguinte.

Algumas casas são especiais — casas de tarefa, casas de vantagens e casas de desvantagens. Sempre que alguém calha nessas casas, deve tirar a carta correspondente e cumprir o que lá se indica. Nas casas de tarefa, se cumprir corretamente a tarefa correspondente pode continuar a jogar, lançando novamente o dado. Nas casas de vantagens e casas de desvantagens, deve avançar ou recuar o número de casas indicado e depois passar a vez.

Ganha o/a jogador/a ou equipa que chegar primeiro à casa número 55. Essa casa pode ser alcançada desde que o valor obtido após o lançamento do dado seja igual ou superior ao número de casas que restam para que possa alcançar a casa final.

JOGO INTERACIONAL  
**MUDAR OU NÃO MUDAR?**  
 A Evolução da Camuflagem Sazonal e as Alterações Climáticas



**4** **12**  
 Os humanos, as árvores e as plantas são presentes em algumas zonas do rio.  
**7** **20** **28**  
 Os humanos, as árvores e as plantas são presentes em algumas zonas do rio.  
**36** **44** **52**  
 Os humanos, as árvores e as plantas são presentes em algumas zonas do rio.  
 Depois de uma característica de cada uma das espécies representadas no jogo, os jogadores vão ser considerados como adaptadas ou não que cometa algum tipo de erro em si adaptando a sua reprodução às condições.



## SUGESTÕES DE RECURSOS EDUCATIVOS

Para saber mais sobre este e outros projetos relacionados com este tema:

<https://evochangept.wordpress.com/>

Para uma descrição mais detalhada da atividade sobre seleção natural:

Sá-Pinto X, Campos R (2012). As borboletas da floresta amarela. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal.

[Livro disponível em: [https://cibio.up.pt/fotos/editor2/As\\_Borboletas\\_da\\_Floresta\\_Amarela.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/As_Borboletas_da_Floresta_Amarela.pdf)]

Campos R, Sá-Pinto A (2013). Early evolution of evolutionary thinking: teaching evolutionary biology in elementary schools. *Evolution: Education and Outreach* 6:25.

[Artigo disponível em: <http://www.evolution-outreach.com/content/6/1/25>]

Campos R, Almeida C, Araújo M (2018). Ensinar Genética e Evolução por meio de jogos didáticos: superando concepções alternativas de professores de ciências em formação. *Genética na Escola* 13(1): 24-37. [Artigo disponível em: <https://www.flipsnack.com/Eveli/revista-gen-tica-na-escola-vol-13-n-1.html>]

Para uma descrição sobre as sessões em que se usou a atividade sobre seleção natural:

Campos R, Melo-Ferreira J (2021). Let's talk about climate change... but when do we start? In PCST (org.), *PCST Archive 2021*. Online: PCST.

[Artigo disponível em: <https://pcst.co/archive/conference/paper/download/585>]

Para outras histórias sobre lebres e o nosso trabalho de investigação sobre estes mamíferos: Campos R; Melo-Ferreira J, Acevedo P. (2015).

Lebres fantasmas: a evolução das lebres na Península Ibérica. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal.

[Livro disponível em [https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Mini\\_Livro\\_LebresFantasmasPT\\_Nov2015.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Mini_Livro_LebresFantasmasPT_Nov2015.pdf)]

Para exemplos sobre a influência da deriva genética e da seleção natural sobre a evolução de características humanas:

Campos et al. (2014). Somos mutantes!

[Cartazes disponíveis em: [https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science\\_Society/somos\\_mutantes\\_cartazes.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science_Society/somos_mutantes_cartazes.pdf)]

Para pequenas “histórias” sobre evolução e biodiversidade e sugestões de como corrigir algumas das conceções alternativas mais frequentes sobre evolução:

Campos et al. (2013). Um livro sobre evolução. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal.

[Livro disponível em: [https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science\\_Society/Um\\_livro\\_sobre\\_evolucao.pdf](https://cibio.up.pt/fotos/editor2/Science_Society/Um_livro_sobre_evolucao.pdf)]

Para exemplos de algumas das conceções alternativas mais frequentes sobre evolução em Portugal:

Campos R, Almeida C, Alves R (2017).

Identifying alternative conceptions about evolution in Portuguese high-school students: a reflection based on new and published data. *Enseñanza de las Ciencias*, N.º Extraordinario 3945-3950.

[Artigo disponível em: <https://ddd.uab.cat/record/183792>]

Para exemplos sobre a importância do conhecimento sobre evolução no nosso cotidiano:

Sá-Pinto X, Ponce R, Fonseca MJ, de Oliveira P, Campos R (2014). Evolução biológica no dia-a-dia das escolas. *Revista de Ciência Elementar* 2(3): 21-25.

[Artigo disponível em: [http://www.dropbox.com/s/te7r86j7ljzyxfb/SaPintoEtAl\\_RevElemCiencia\\_2014.docx.pdf](http://www.dropbox.com/s/te7r86j7ljzyxfb/SaPintoEtAl_RevElemCiencia_2014.docx.pdf)]

## BIBLIOGRAFIA

- Alguns artigos da equipa de investigação:  
Acevedo P, Melo-Ferreira J, Real R, Alves PC (2012) Past, Present and Future Distributions of an Iberian Endemic, *Lepus granatensis*: Ecological and Evolutionary Clues from Species Distribution Models. *PLoS One* 7, e51529.
- Acevedo P, Melo-Ferreira J, Real R, Alves PC (2014) Evidence for niche similarities in the allopatric sister species *Lepus castroviejoi* and *Lepus corsicanus*. *Journal of Biogeography* 41, 977-986.
- Carneiro M, Albert FW, Melo-Ferreira J, Galtier N, Gayral P, Blanco-Aguiar JA, Villafuerte R, Nachman MW, Ferrand N (2012) Evidence for widespread positive and purifying selection across the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) genome. *Molecular Biology and Evolution* 29, 1837-1849.
- Ferreira MS, Jones MR, Callahan CM, Farello L, Tolesa Z, Suchentrunk F, Boursot P, Mills LS, Alves PC, Good JM, Melo-Ferreira J (2021) The Legacy of Recurrent Introgression during the Radiation of Hares. *Systematic Biology* 70, 593-607.
- Ferreira MS, Alves PC, Callahan CM, Giska I, Farello L, Jenny H, Mills LS, Hackländer K, Good JM, Melo-Ferreira J (2020) Transcriptomic regulation of seasonal coat color change in hares. *Ecology and Evolution* 10, 1180-1192.
- Ferreira MS, Alves PC, Callahan CM, Marques JP, Mills LS, Good JM, Melo-Ferreira J (2017) The transcriptional landscape of seasonal coat colour moult in the snowshoe hare. *Molecular Ecology* 26, 4173-4185.
- Giska I, Farello L, Pimenta J, Seixas FA, Ferreira MS, Marques JP, Miranda I, Letty J, Jenny H, Hackländer K, Magnussen E, Melo-Ferreira J (2019) Introgression drives repeated evolution of winter coat color polymorphism in hares. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 116, 24150-24156.
- Giska I, Pimenta J, Farello L, Boursot P, Hackländer K, Jenny H, Reid N, Montgomery WI, Prodöhl PA, Alves PC, Melo-Ferreira J (2022) The evolutionary pathways for local adaptation in mountain hares. *Molecular Ecology* 31, 1487-1503.
- Jones MR, Mills LS, Alves PC, Callahan CM, Alves JM, Lafferty DJR, Jiggins FM, Jensen JD, Melo-Ferreira J, Good JM (2018) Adaptive introgression underlies polymorphic seasonal camouflage in snowshoe hares. *Science* 360, 1355-1358.
- Marques JP, Seixas FA, Farello L, Callahan CM, Good JM, Montgomery WI, Reid N, Alves PC, Boursot P, Melo-Ferreira J (2020) An Annotated Draft Genome of the Mountain Hare (*Lepus timidus*). *Genome Biology and Evolution* 12, 3656-3662.
- Mills LS, Bragina EV, Kumar AV, Zimova M, Lafferty DJR, Feltner J, Davis BM, Hacklander K, Alves PC, Good JM, Melo-Ferreira J, Dietz A, Abramov AV, Lopatina N, Fay K (2018) Winter color polymorphisms identify global hot spots for evolutionary rescue from climate change. *Science* 359, 1033-1036.
- Miranda I, Giska I, Farello L, Pimenta J, Zimova M, Bryk J, Dalén L, Mills LS, Zub K, Melo-Ferreira J (2021) Museomics dissects the genetic basis for adaptive seasonal colouration in the least weasel. *Molecular Biology and Evolution* 38, 4388-4402.
- Seixas FA, Boursot P, Melo-Ferreira J (2018) The genomic impact of historical hybridization with massive mitochondrial DNA introgression. *Genome Biology* 19, 91.
- Zimova M, Hackländer K, Good JM, Melo-Ferreira J, Alves PC, Mills LS (2018) Function and underlying mechanisms of seasonal colour moulting in mammals and birds: what keeps them changing in a warming world? *Biological Reviews* 93, 1478-1498.

## OUTROS ARTIGOS E DOCUMENTOS CONSULTADOS

- Bell G (2017) Evolutionary Rescue. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48, 605-627.
- Capblancq T, Fitzpatrick MC, Bay RA, Exposito-Alonso M, Keller SR (2020) Genomic Prediction of (Mal)Adaptation Across Current and Future Climatic Landscapes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 51, 245-269.
- Díaz S, Settele J, Brondízio ES, Ngo HT, Agard J, Arneeth A, Balvanera P, Brauman KA, Butchart SHM, Chan KMA, Garibaldi LA, Ichii K, Liu J, Subramanian SM, Midgley GF, Miloslavich P, Molnár Z, Obura D, Pfaff A, Polasky S, Purvis A, Razzaque J, Reyers B, Chowdhury RR, Shin Y-J, Visseren-Hamakers I, Willis KJ, Zayas CN (2019) Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science* 366, eaax3100.
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- Kardos M, Luikart G (2021). The genetic architecture of fitness drives population viability during rapid environmental change. *The American Naturalist* 197, 511-525.
- Pauls SU, Nowak C, Balint M, Pfenninger M (2013) The impact of global climate change on genetic diversity within populations and species. *Molecular Ecology* 22, 925-46.
- Razgour O, Forester B, Taggart JB, Bekaert M, Juste J, Ibanez C, Puechmaille SJ, Novella-Fernandez R, Alberdi A, Manel S (2019) Considering adaptive genetic variation in climate change vulnerability assessment reduces species range loss projections. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 116, 10418-10423.
- Teixeira JC, Huber CD (2021) The inflated significance of neutral genetic diversity in conservation genetics. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 118, e2015096118.
- Waldvogel A-M, Feldmeyer B, Rolshausen G, Exposito-Alonso M, Rellstab C, Kofler R, Mock T, Schmid K, Schmitt I, Bataillon T, Savolainen O, Bergland A, Flatt T, Guillaume F, Pfenninger M (2020) Evolutionary genomics can improve prediction of species' responses to climate change. *Evolution Letters* 4, 4-18.
- Warren R, Price J, Graham E, Forstenhaeusler N, VanDerWal J (2018) The projected effect on insects, vertebrates, and plants of limiting global warming to 1.5°C rather than 2°C. *Science* 360, 791.

Este livro foi editado no âmbito do projeto de investigação 2CHANGE, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (referência PTDC/BIA-EVL/28124/2017; cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional através do COMPETE 2020, com a referência POCI-01-0145-FEDER-028124).



TÍTULO

**MUDAR OU NÃO MUDAR?  
A Evolução da Camuflagem Sazonal  
e as Alterações Climáticas**

AUTORES

**Rita Campos**

CES, Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra.

**José Melo-Ferreira**

CIBIO-InBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos da Universidade do Porto, InBIO Laboratório Associado; Departamento de Biologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto; Programa BIOPOLIS em Genómica, Biodiversidade e Ordenamento do Território.

EDIÇÃO

Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBIO Laboratório Associado, Universidade do Porto  
Abril de 2022

ISBN

978-989-53516-3-3

DESIGN

Joana Monteiro

