



## Episódio 06 - O UNIVERSO É UM GRANDE CASSINO

*"Itálico"*: Excerto de fala de pseudociência ou outros vídeos do YouTube

[entre colchetes]: efeito sonoro

### **ABERTURA \*\*\*\*\***

[intro - baixo]

**Lu** - Imagina que tu estás participando de uma brincadeira em que tem uma lâmpada branca e outra lâmpada vermelha, e uma delas vai acender, mas tu não sabe qual. Aí primeiro acende a vermelha... depois a branca... e depois a vermelha de novo. E a pergunta é: qual lâmpada que vai ser a próxima a acender?

**Leo** - Alguns anos atrás, nas décadas de 1960 e 1970, foram realizados alguns estudos desse tipo, numa área de pesquisa chamada aprendizado de probabilidades. O objetivo era entender como alguns animais, no seu habitat natural, tomavam decisões que eram basicamente probabilísticas, ou seja, podiam tanto dar certo como dar errado.

**Lu** - Por exemplo, num cenário de escassez, quando é que um grupo de aves deve partir para uma nova área em busca de comida? Pode muito bem acontecer de elas acharem um novo local com mais alimento, mas também pode acontecer de elas abrirem mão do pouco de comida que tinham por outro lugar com ainda menos.

Então será que com o tempo as aves aprendem a fazer apostas melhores ou seguem sempre o mesmo instinto?

**Leo** - Alguns cientistas começaram a fazer alguns experimentos parecidos com esse que a Lu mencionou antes: tinham duas lâmpadas, uma vermelha e uma branca, e os animais precisavam adivinhar qual delas iria acender, e eram recompensados quando acertavam. Bom, não era exatamente assim, mas a premissa é a mesma. Só que o mecanismo que controlava essas lâmpadas era aleatório, como se fosse decidido por cara ou coroa: quando caía cara, acendia a lâmpada vermelha, quando caía coroa, acendia a branca. Só que não era cara ou coroa com uma moeda comum, era uma moeda enviesada, que tinha um lado mais pesado que o outro: então a chance de cair cara, ou seja, acender o vermelho, era de 70%, contra 30% de chance de cair coroa e acender a luz branca. Só que esse mecanismo não ficava abertamente exposto, a única coisa que os animais viam eram as luzes acendendo.

**Lu** - Bom, se o experimento é planejado desse jeito, então existe uma estratégia ótima, que maximiza o número de acertos. Ou seja, se os animais usassem essa estratégia eles teriam a maior chance possível de acerto. Tu já sabe qual é essa estratégia? A ideia é: [rádio] sempre apostar que vai acender a lâmpada vermelha.

**Leo** - Faz sentido, porque se o padrão que governa as lâmpadas é aleatório, o melhor que se pode fazer é apostar sempre no resultado que tem mais chance de acontecer. Chutando sempre no vermelho, a taxa média de acerto é de 70%, que nesse caso é a mais alta possível.

**Lu** - Agora, sabe o que é curioso? Animais não tão inteligentes assim, como pombos e peixinhos dourados, costumam entender isso e, após algumas rodadas, aprendem que devem sempre chutar vermelho. E sabe qual animal muitas vezes não se sai tão bem assim nesse tipo de experimento? Os seres humanos.

**Leo** - Seres humanos, que teoricamente são tão espertos e tudo o mais, não se dão por satisfeitos em acertar apenas 70% das vezes, como os pombos aprendem a fazer. A gente quer acertar 100%. E nisso, muitas vezes a gente acaba se convencendo que existe um padrão mirabolante por trás do comportamento das lâmpadas, ou seja, que existe um segredo que contém a chave para o sucesso e que pode ser decifrado.

**Lu** - Mas, em certas ocasiões, como nesse experimento em particular, isso simplesmente não é possível, porque o acender das lâmpadas é escolhido de forma aleatória. E acaba que, nesses casos, os seres humanos apresentam um desempenho pior que o dos peixinhos dourados.

**Leo** - A gente quis começar esse episódio falando desse experimento porque ele ilustra bem uma característica dos seres humanos que contribui para a propagação de misticismos e pseudociências: seres humanos têm uma grande dificuldade de acreditar que alguns eventos sejam simplesmente aleatórios.

**Gláucia** - E por acaso isso também tem muita coisa a ver com teoria quântica. Eu sou a Gláucia Murta, física e pesquisadora na Universidade de Düsseldorf na Alemanha.

**Lu** - Eu sou a Luciane Treulieb, jornalista e divulgadora científica, na Universidade Federal de Santa Maria.

**Leo** - E eu sou Leonardo Guerini, matemático e professor também na UFSM. [baixo] Esse é o podcast O Q Quântico. No primeiro bloco do episódio de hoje, a gente fala sobre por que essas coisas que a gente gosta de chamar de aleatórias, como o cara ou coroa, num certo sentido não são realmente aleatórias. Já no bloco dois, a gente conta um pouquinho mais sobre medições quânticas e por que, essas sim, são aleatórias de verdade. E pra finalizar, no bloco 3 a gente fala sobre criptografia e o que ela tem a ver com tudo isso. Vem com a gente que tá começando o episódio 6: O universo é um grande cassino.

[gato]

## **BLOCO 1: DETERMINISMO CLÁSSICO \*\*\*\*\***

[chiado]

*“Então eu diria para as pessoas aqui é se abram, então a gente se abrir para o novo, se abrir para as possibilidades, que a física quântica é a física das possibilidades né.”*

[chiado]

**Leo** - A física quântica é a física das possibilidades. A gente encontrou essa fala que você ouviu agora num canal de youtube de pseudociência. Esse é mais um desses casos em que a frase em si faz sentido e que com alguma boa vontade a

gente pode dizer que ela está cientificamente correta... mas não por motivos místicos.

**Gláucia** - Só que quando a gente fala em possibilidades, isso fica um pouco vago. Uma maneira mais precisa de falar sobre essas coisas é dizer que a física quântica é a física das probabilidades.

**Gabriela Barreto Lemos:** Falo isso porque o estudo da probabilidade é essencial para entender a mecânica quântica. Então, assim, se a gente não entende probabilidade, nada feito.

**Gláucia** - Essa falando agora é a Gabriela Barreto Lemos, professora do Instituto de física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A probabilidade é uma maneira de quantificar cada uma das possibilidades que podem ocorrer num certo evento. Talvez o exemplo mais simples que a gente pode pensar é jogar uma moeda para cima, num cara ou coroa. Nesse caso, considerando que a gente tem uma moeda normal, simétrica, com um formato e um peso regular, a gente costuma dizer que a probabilidade de cair cara é 50% e a probabilidade de cair coroa também é 50%.

**Leo** - Em outras palavras, quando a gente joga uma moeda para cima, em geral a gente não sabe qual vai ser o resultado. Então atribuir uma probabilidade a cada um dos resultados possíveis é uma maneira da gente tentar dizer algo sobre o que vai acontecer.

**Gabriela Barreto Lemos:** E se a gente não entende probabilidade, não é que só que a gente não vai entender física quântica, não, a gente não vai entender o mundo, né?

**Leo** - A gente concorda. De fato, tem muita coisa no mundo que você só entende se entender um pouquinho sobre probabilidades.

**Lu** - Aqui a gente pode citar várias coisas importantes do nosso dia a dia que envolvem probabilidade: por exemplo, tem a previsão do tempo, que indica quais são as chances de chover amanhã. Outro exemplo é que vários testes de eficácia de medicamentos são feitos para se estimar a probabilidade de uma pessoa melhorar, ou ser curada. E ainda outro tópico muito relevante, que a gente ouviu falar bastante durante a pandemia, são os modelos probabilísticos, que naquele caso serviam para estimar o número de pessoas contaminadas pelo vírus se essa ou aquela política de prevenção fosse colocada em prática...

**Leo** - E inclusive muitos desses temas geraram polêmicas justamente devido a distorções sobre o que significa probabilidade, o que são modelos probabilísticos e como interpretá-los.

**Gláucia** - Mas voltando para o conceito de probabilidade, todas as áreas da ciência que envolvem experimentos necessariamente incluem estudos estatísticos, em que muitas vezes o objetivo é estimar as probabilidades do modelo em questão estar certo ou errado. Então realmente a probabilidade é um ponto central na ciência.

**Gabriela Barreto Lemos:** Não tem como você falar de desenvolvimento científico sem falar de probabilidade, né?

**Lu** - Tá, então quando a gente joga uma moeda normal para cima, a gente diz que a probabilidade de cair cara é de 50% e a probabilidade de cair coroa também é de 50%. Mas lá no início do episódio, na descrição dos blocos, a gente já disse que cara ou coroa não era algo realmente aleatório. Mas por quê?

**Gláucia** - Bom, antes da gente responder isso, a gente precisa primeiro definir o que significa ser aleatório. Essa já é uma tarefa difícil, e tem mais de uma definição possível. Mas aqui no episódio, a gente quer diferenciar dois tipos de aleatoriedade: o primeiro tipo é a aleatoriedade que surge pela nossa falta de conhecimento de todas as variáveis que influenciam um evento, e isso a gente vai chamar de [eco] aleatoriedade aparente. Já já a gente vai dar exemplos disso. Mas por outro lado, tem também a [eco] aleatoriedade intrínseca, ou seja, que envolve eventos que não têm nenhuma maneira de serem previstos com certeza, mesmo que a gente conheça tudo que é possível saber sobre esse evento.

**Leo** - Deixa eu tentar dar uns exemplos usando sequências de números. Se a gente ficar repetindo apenas [rádio] 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1... essa não parece uma sequência aleatória, certo? Eu estou só alternando entre 0 e 1, um de cada vez, então é realmente fácil prever qual o próximo número que vai aparecer. Agora, se eu falasse [rádio] 3, 1, 4, 1, 5, 9, 2, 6, 5, 3, 5... e continuasse, talvez, à primeira vista, isso pareça aleatório. Mas se você identificar que esses são exatamente os primeiros números que aparecem na expansão decimal do número pi, pronto, você vai ver que eles não são aleatórios. Se você quiser saber qual é o próximo número que vai aparecer nesta lista, você só precisa procurar o número pi na internet e ver qual número vem depois do último que eu falei. Ou seja, existe uma fórmula que prediz qual é o próximo número.

**Lu** - Hmmm tá. Mas então, voltando ao cara e coroa... vocês estavam dizendo que o resultado talvez não fosse aleatório. Então quer dizer que existe uma fórmula que prevê se vai sair cara ou coroa?

**Leo** - Então, à primeira vista pode parecer estranho, mas é isso mesmo que a gente tá dizendo. Só que é um pouco diferente desse exemplo do pi, em que já tinha uma lista pronta com os números que vão sair. No caso do cara ou coroa, o que explica a situação é mais a física do que a matemática.

**Gláucia** - Pensa comigo: quando eu jogo cara ou coroa, eu tô aplicando uma certa força em algum ponto dessa moeda, que faz ela girar no ar. Então por que que é possível, em princípio, predizer o que vai acontecer? Porque se eu conhecer precisamente [plim] as dimensões dessa moeda, [plim] a densidade do material, [plim] a força que eu apliquei, [plim] o ponto exato onde essa força foi aplicada, [plim] a resistência do ar e [plim] a força da gravidade... se eu souber tudo isso, em princípio a física clássica me diz como calcular a trajetória dessa moeda. São simplesmente as leis da mecânica clássica.

**Leo** - Eu posso inclusive tentar jogar a moeda de um jeito específico para manipular o resultado. Por exemplo, um caso extremo seria fazer com que a moeda não girasse nenhuma vez, ou seja, ela sobe no ar e depois desce sempre com a mesma face voltada para cima, o tempo todo.

**Gláucia** - É, e a gente não tá dizendo que fazer isso é fácil, né. Muito pelo contrário, a menos que a gente jogue a moeda de uma maneira meio roubada, que nem o Leo falou, simular o movimento da moeda pode ser um problema super complexo. Mas, em princípio, é possível. Se eu conhecer bem essa moeda e souber direitinho como foi a minha interação com ela, não tem chance para o acaso. A moeda vai seguir um movimento bem determinado. E, teoricamente, a gente sempre pode calcular qual vai ser a face que vai acabar voltada para cima.

**Leo** - Esse raciocínio não se restringe apenas a moedas. É a mesma coisa quando a gente joga um dado, ou quando a gente vê aquelas roletas nos cassinos. Todos esses objetos, assim como qualquer outro objeto do nosso cotidiano, se movimentam de maneira determinística, ou seja, de forma completamente determinada pelas forças que agem sobre eles. As probabilidades surgem apenas pela nossa falta de conhecimento de todas as variáveis possíveis que podem

influenciar o evento, que faz com que a gente não consiga saber o resultado com 100% de certeza.

**Lu** - Então o que vocês estão dizendo é que um cara ou coroa não é decidido pela sorte. É decidido pela física.

**Leo** - Essencialmente, sim. Então se você me pergunta se um jogo de cara ou coroa é aleatório, do ponto de vista do processo físico que está acontecendo, eu respondo que não, porque em princípio dá para prever o que vai acontecer.

**Gláucia** - Agora, mesmo que eu faça antecipadamente todos os cálculos direitinho, é quase impossível colocar isso em prática: é difícil dosar a força exata que eu tenho que usar e é difícil acertar o local exato em que eu devo atingir a moeda. É por isso que, em geral, a gente não consegue prever o resultado. E é daí que surgem essas probabilidades de 50% de chance de sair cara e 50% de chance de sair coroa.

**Leo** - Por esse motivo que, para todos os efeitos, não tem problema em usar cara ou coroa para decidir quem começa batendo os pênaltis num jogo de futebol, por exemplo. Mas é importante deixar claro o porquê: cara ou coroa pode ser uma maneira imparcial de decidir as coisas, mas não por ser algo intrinsecamente aleatório, mas por causa da nossa ignorância sobre as condições físicas do problema. Se você lembrar o que a gente falou mais cedo, é exatamente isso que a gente chamou de aleatoriedade aparente. Se a gente controlasse de maneira precisa todas as variáveis que a Gláucia citou antes, resistência do ar, a força que é aplicada na moeda, etc, a gente conseguiria sempre fazer a moeda cair com cara virado para cima, por exemplo.

**Lu** - Então quer dizer que a gente só não consegue entrar num cassino e sair de lá milionária porque a gente não sabe com que força a bolinha foi jogada em cima da roleta? É isso?

**Gláucia** - É, teria que saber também a força com que a roleta foi girada e mais outros detalhes, mas basicamente isso. A gente gosta de dizer que essas coisas são decididas na sorte, mas se tudo depende da física, o que que a sorte tem a ver com isso? E outra pergunta que eu acho legal é: será que existem outros processos aparentemente aleatórios, mas que, depois de muito treino, a gente consegue controlar? E, pensando nisso, a gente vai se dando conta que é exatamente desse jeito que os mágicos e ilusionistas fazem boa parte dos seus truques.

**Leo** - Verdade, assim como a gente tá falando de moedas e cara ou coroa, a gente pode falar de cartas e embaralhamento. Existem várias maneiras de embaralhar as cartas de um baralho, mas duas delas são as mais populares. A primeira, é pegar o baralho numa mão e com a outra simplesmente pegar blocos de cartas e passar eles para o fim do baralho.

[Diaconis] *“People shuffle cards... They shuffle cards this way.”*

**Leo** - Outra maneira, que é visualmente mais bonita, é chamada de cascata: a gente divide o baralho em dois montes, segura um em cada mão, e vai soltando as cartas de modo que os dois montes acabam se intercalando.

[Diaconis] *“Cut 'em about in half; you go like that; you push 'em together, right.”*

**Leo** - Normalmente, quando alguém embaralha as cartas desse segundo jeito, existem duas coisas que aparentemente ficam por conta da sorte: a primeira [plim] é a quantidade de cartas em cada mão, quando a gente divide o baralho em dois montes, e a segunda [plim] é a maneira como as cartas se intercalam.

**Gláucia** - Agora, o que uma pessoa pode fazer é praticar tanto esse embaralhamento até chegar no ponto em que não tem mais incerteza nenhuma nesses dois momentos: a gente pode treinar o corte até conseguir dividir o baralho em dois montes com exatamente o mesmo número de cartas e pode treinar o movimento da cascata até que as cartas se intercalem exatamente uma a uma (uma carta de uma mão, uma carta da outra, e assim por diante). Se você consegue fazer isso, você sabe exatamente a ordem final em que as cartas vão ficar. Assim, esse processo é determinístico e o embaralhamento passa a ser só um teatro.

**Leo** - Uma pessoa que estudou essas coisas, tanto do ponto de vista dos truques quanto do ponto de vista científico, e de quem eu sou fã, é o Persi Diaconis. Ele é um matemático estadunidense bastante conhecido, que já é professor da Universidade de Stanford há um bom tempo. Mas, quando o Diaconis era pequeno, ele sabia exatamente o que ele queria ser: o sonho dele era ser mágico. Então, quando ele tinha 14 anos, ele fugiu de casa para seguir a vida de mágico itinerante, aprendendo e inclusive inventando um monte de truques, principalmente com cartas.



[Diaconis] *“So, for example... take a guess, what do you think the top card is?”*

[Interviewer] *“Six of spades.”*

**Gláucia** - Aliás, essas últimas falas que a gente tem escutado são do Persi Diaconis em uma entrevista pro canal do youtube Numberphile. Quando você tem talento para isso, toda forma de embaralhamento de cartas acaba sendo uma oportunidade para enganar, no melhor sentido da palavra, as pessoas. A ideia é sempre a mesma: tirar proveito dessa impressão que a gente tem de que o mundo é aleatório, quando, na verdade, a sequência de movimentos e escolhas que está acontecendo é completamente determinada pelo mágico.

**Leo** - Diaconis tinha esse tipo de talento, mas também tinha muita curiosidade. Ele começou a se perguntar algumas coisas parecidas com as que a gente já trouxe aqui no episódio: [filtro rádio] [plim] se a gente jogar cara ou coroa sempre do mesmo jeito, o resultado vai ser sempre o mesmo? [plim] Quantos parâmetros são necessários para se descrever um cara ou coroa do ponto de vista físico? [plim] Qual é a melhor forma de embaralhar cartas, do ponto de vista probabilístico?

[Diaconis] *“A question is, how many times do you have to shuffle a deck of cards to mix it up?”*

**Gláucia** - E foi assim que ele acabou se tornando um matemático especialista na área de probabilidade. Entre os seus vários trabalhos, ele desenvolveu, junto com o departamento de engenharia da sua universidade, uma “máquina de cara ou coroa”, em que a moeda era jogada sempre com a mesma força, aplicada sempre no mesmo lugar. Logo, o resultado era sempre o mesmo.

**Leo** - Outro resultado legal é que o Diaconis mostrou que na verdade as probabilidades do cara ou coroa não são necessariamente 50-50, mas sim que existe 51% de chance do resultado ser a face que já estava virada para cima na hora do lançamento. Ou seja, se você for decidir algo no cara ou coroa, peça “cara” e lance a moeda com a face “cara” virada para cima, porque com isso a sua chance de vencer vai ser um pouquinho maior.

**Gláucia** - Mas o resultado mais famoso do Persi Diaconis é sobre embaralhamento mesmo. Em 1992, ele demonstrou um teorema matemático que diz que sete embaralhadas do tipo cascata são o suficiente para deixar as cartas muito próximas da forma mais aleatória possível.

[Diaconis] *“And there's a practical answer. The answer is about seven.”*

**Gláucia** - Ou seja, depois de sete embaralhadas, a ordem das cartas vai estar completamente bagunçada. Seis embaralhadas não são o suficiente e uma oitava embaralhada já não faz muita diferença, sete é o número certo! Isso, claro, se quem estiver embaralhando for uma pessoa amadora, introduzindo aquelas incertezas que a gente falou antes, na hora de cortar e de misturar as cartas. Só para comparação, se você embaralhar as cartas do outro jeito mais usual, por blocos, você precisaria de 10 mil embaralhadas para obter o mesmo resultado.

**Lu** - Numa entrevista recente a um jornal português, perguntaram pro Diaconis se aleatoriedade existe mesmo ou é só uma invenção dos matemáticos para representar coisas que eles não controlam. Sabe qual foi a resposta dele? Ele disse [rádio] “Depois de pensar nisso durante 50 anos, e esquecendo agora a mecânica quântica, o meu melhor palpite é que a aleatoriedade é uma afirmação sobre o conhecimento de determinada pessoa. Não é uma afirmação acerca do mundo exterior”.

**Gláucia** - Aqui você deve ter notado que o Diaconis mencionou a teoria quântica na resposta dele, e a gente já já vai chegar lá. Antes disso, eu só queria contar que se a gente levar essa forma de pensar às suas últimas consequências, a gente chega numa ideia chamada de [eco] demônio de Laplace. Essa é uma anedota criada pelo Pierre-Simon, o Marquês de Laplace, que foi um matemático francês que viveu entre os séculos 18 e 19.

**Leo** - A ideia é mais ou menos assim: se alguma pessoa, e teria que ser alguém com capacidades sobrenaturais, por isso que se fala em demônio, mas se alguma pessoa souber com precisão a posição e a velocidade de cada objeto do universo em um determinado instante de tempo, digamos, ontem ao meio dia, então, a partir disso ela consegue prever o movimento de qualquer coisa do universo em qualquer momento, do passado ou do futuro, utilizando as leis da física clássica.

**Gláucia** - Nas palavras de Laplace: [rádio] “Para tal intelecto, nada seria incerto, e o futuro, assim como o passado, estaria presente diante de seus olhos”. Ou seja, essa história mostra pra gente que as leis da mecânica clássica descrevem o universo como se fosse um relógio, onde uma engrenagem aciona outra engrenagem, que aciona outra, e assim por diante, de maneira completamente previsível. Desse ponto de vista, se a gente tem a impressão que o universo é aleatório, é só porque a gente

não tem informação suficiente sobre ele, ou por que a gente não conhece o mecanismo inteiro do relógio, ou por que a gente não consegue fazer os cálculos.

**Leo** - Bom, é claro que esse argumento é bastante provocativo. Pensar assim é basicamente dizer que tudo no universo, inclusive as pessoas e demais seres vivos, se resumem a bolas de bilhar se chocando umas com as outras, fadadas a seguir os caminhos traçados. Mas fora isso, talvez daria para pensar que os fenômenos da natureza, pelo menos os que envolvem objetos inanimados, funcionam assim mesmo.

**Gláucia** - O demônio de Laplace foi uma ideia que surgiu ainda no século 19. De lá para cá, muita coisa mudou. [congas] Em particular, um evento que deu um golpe duro nessa concepção determinística de universo foi justamente o surgimento da teoria quântica. Isso porque, diferente de um cara ou coroa, ou de um embaralhamento de cartas, a teoria quântica, pelo menos como a gente conhece hoje, é intrinsecamente probabilística.

[gato]

## **BLOCO 2: PROBABILISMO QUÂNTICO** \*\*\*\*\*

**Bárbara Amaral:** Então, eu acho que a questão central, que eu acho que é o mais difícil da gente fazer essa transição do pensar sistemas clássicos e pensar sistemas quânticos que é: o que que significa medir alguma coisa?

**Leo** - Essa é a Bárbara Amaral, que é professora do Departamento de Física Matemática da Universidade de São Paulo e pesquisadora de teoria da informação quântica. Como a Bárbara falou, pra gente entender a aleatoriedade que surge na teoria quântica, primeiro a gente precisa entender o que é uma medição.

**Gláucia** - Na maioria das vezes, fazer uma medição, ou uma observação, do sistema que você está estudando, é uma coisa tão simples que a gente faz sem nem prestar muita atenção. Por exemplo, pensa de novo no cara ou coroa. Como a gente verifica se uma moeda está com a face cara ou com a face coroa virada para cima? Bom, a gente simplesmente olha para ela. Ou seja, nesse caso, a medição é olhar qual face da moeda que tá virada para cima. Nada demais, né? Mas é importante notar que essa medição só é possível porque existe uma interação física com essa moeda.

**Leo** - De novo é aquela história que já apareceu aqui no podcast algumas vezes: a gente só enxerga algo quando existem fótons, ou seja, luz, que são refletidos por esse algo e depois capturados pelos nossos olhos. Então, nesse caso do cara ou coroa, é necessário que haja essa interação por meio de fótons para que a gente possa enxergar a moeda e medir se ela está com cara ou com coroa virado para cima.

**Gláucia** - Só que a gente nem costuma prestar atenção nessas interações. Isso acontece principalmente porque esse tipo de medição, na prática, não influencia o resultado que eu obtenho. Ou seja, se eu olhar ou se eu não olhar pra moeda, isso não vai mudar qual face está virada para cima. Independentemente da minha medição, a face virada para cima está bem definida.

**Bárbara Amaral:** No nosso mundo clássico, a gente sempre pensa que os objetos, os sistemas físicos, eles têm grandezas, propriedades que são bem definidas, e a medição, ato de medir é uma maneira que a gente encontrou para revelar esse valor, que já estava lá bem definido daquele sistema.

**Leo** - Ou seja, quando a gente faz medições nos objetos do nosso dia a dia, seja vendo o resultado de um cara ou coroa, ou medindo a velocidade de um carro, ou medindo a temperatura de um corpo. Para todas elas, a gente precisa interagir com o respectivo objeto que está sendo medido, mas é uma interação desprezível, que não afeta em nada nem esse objeto nem o resultado da medição.

**Bárbara Amaral:** Então, essa noção é a noção de medição que a gente tem no nosso dia a dia, da física clássica e é muito difícil a gente pensar que existe uma coisa que não seja isso né.

**Gláucia** - Só que quando a gente tá medindo sistemas quânticos, a história é outra. Como a gente falou no episódio passado, as propriedades quânticas de um sistema são super sensíveis e instáveis, e até a interação com alguns fótons já causa alterações no sistema. Então, só pra fazer uma analogia, se a gente jogasse cara ou coroa com uma moeda quântica, apenas olhar qual foi o resultado obtido já poderia alterar o estado em que essa moeda estava.

**Lu** - Isso também lembra a situação dos elétrons no experimento da fenda dupla uns episódios atrás, em que só de olhar os elétrons a gente já alterava o comportamento deles né.

**Gláucia** - É, bem lembrado. Além de muito instável, outra diferença do mundo quântico para o mundo clássico é que, no quântico, existem fenômenos tipo superposição. Então imagina que, antes de ser medida, essa moeda quântica estivesse isolada de tudo à sua volta, e num estado de superposição de cara e coroa. Para medir essa moeda, a gente precisa interagir com ela de alguma forma, e essa interação acaba com o isolamento. A partir daí, a, entre aspas, “seleção natural quântica” que a gente discutiu no episódio passado acaba com a superposição e faz com que a moeda assuma um dos estados clássicos: apenas cara ou apenas coroa.

**Lu** - Nossa, então agora tá embolando tudo, né? Estão aparecendo todas as discussões de todos os episódios.

**Leo** - Calma, que agora a gente chegou no ponto central desse episódio. Quando a gente mede a moeda quântica e ela assume um desses estados, cara ou coroa, a própria teoria já descreve esse processo como algo aleatório, ou seja, como algo que não pode ser determinado com 100% de certeza. Então isso é um contraste grande com a moeda clássica, essa do nosso dia a dia. No bloco passado a gente tava falando que uma moeda normal só resulta em 50% cara e 50% coroa porque a gente não conhece todos os detalhes dessa moeda e da maneira que ela foi arremessada. Mas na quântica é diferente.

**Lu** - Vocês estão falando toda hora de moeda quântica, mas o que é isso? Não é uma moeda bem pequenininha né?

**Leo** - É só uma analogia. Assim como uma moeda normal só tem duas faces, cara e coroa, existem medições em sistemas quânticos que também só podem dar dois resultados, como medir a polarização do fóton, por exemplo, que só pode resultar em horizontal ou vertical. Então medir a polarização do fóton é análogo a jogar um cara ou coroa com uma moeda quântica.

**Gláucia** - A diferença é que, segundo a teoria quântica, mesmo quando a gente sabe tudo o que se pode saber sobre esse fóton, o resultado desse cara ou coroa quântico continua sendo imprevisível [contundência]. É como se o mundo quântico fosse o único cassino à prova de qualquer trapaça, com tudo sendo decidido realmente na sorte [cassino].

**Lu** - Nossa, mas que loucura.

**Leo** - Pois é, a teoria quântica diz que em geral, não há nenhuma maneira da gente saber de antemão qual vai ser o resultado de uma medição quântica, o melhor que a gente pode fazer é calcular a probabilidade de se obter cada resultado. Agora, não é difícil de imaginar que esse tipo de afirmação incomoda muita gente. Inclusive, esse é outro aspecto da quântica que nos força a sair da nossa zona de conforto. Nós, seres humanos, estamos acostumados a procurar padrões em tudo, e a gente lida muito mal com o aleatório, como já mostrou aquele experimento das lâmpadas vermelha e branca que a gente contou na abertura do episódio.

**Gláucia** - Então quando você escuta que a teoria quântica é intrinsecamente aleatória, talvez você duvide disso. Talvez você pense: [efeito rádio] “ok, então a teoria não consegue prever quais vão ser os resultados, mas isso não quer dizer que eles são de fato imprevisíveis, certo? Eventualmente a ciência vai avançar e entender melhor isso.”

**Leo** - Essa desconfiança é bastante natural, e dominou grande parte das discussões filosóficas sobre a teoria na primeira metade do século 20, que foram protagonizadas por cientistas como o Max Born, o Wolfgang Pauli, o Werner Heisenberg, o Erwin Schrödinger, entre outros.

**Gláucia** - E também teve contribuições importantes de figuras como a matemática e filósofa alemã Grete Hermann, cujo trabalho infelizmente não ganhou a devida visibilidade na história da ciência. Bom, mas no cerne dessas discussões a gente tem também os famosos debates entre o Einstein e o Bohr.

**Leo** - Como a gente já contou aqui, Einstein é um dos grandes críticos da teoria quântica, e foi pensando nesse caráter probabilístico da teoria que ele soltou outra das suas famosas frases: [efeito rádio] “Deus não joga dados.”

**Gláucia** - O que o Einstein quis dizer é que, apesar da teoria quântica ser correta, talvez esse caráter probabilístico indique que a teoria seja incompleta. Ou seja, que talvez existam outros elementos, outros fatores, que a gente ainda não conhece, mas que influenciam nas medições quânticas, fazendo aparecer esse caráter probabilístico.

**Leo** - Em 1935, foi publicado um artigo científico sobre esse tema que ficou conhecido como EPR, devido às iniciais dos seus três autores: Einstein, Podolski e Rosen. Nesse artigo, eles elaboram um argumento para demonstrar que a teoria quântica era incompleta, e que portanto a sua aleatoriedade seria apenas aparente.

**Gláucia** - Mais tarde, ficou claro que as hipóteses assumidas no artigo do EPR não eram tão óbvias assim. Mas isso não muda o fato de que ele teve um impacto científico muito grande, e inclusive marcou o início de uma nova área de pesquisa. Seguindo a linha de raciocínio dos seus autores, se a teoria quântica era incompleta, o que a gente deveria tentar fazer é completar a teoria. Aqui, a Bárbara Amaral novamente.

**Bárbara Amaral:** Então a gente pode tentar pensar em completar a física quântica pensando que existem parâmetros adicionais, além dos que a gente já conhece, que permitiriam a gente eliminar essas probabilidades da conversa.

**Gláucia** - Assim, a gente poderia tentar construir uma teoria que desse conta de responder tudo deterministicamente, que fosse uma versão melhorada da nossa teoria atual, tipo uma teoria quântica 2.0.

**Leo** - Esses parâmetros adicionais que completariam a teoria podem ser chamados de um [eco] completamento. Mas como obter esse completamento? E um ponto chave que aparece nessas discussões é o termo “local”.

**Gláucia** - Para entender o que algo ser “local” significa, vamos voltar para o cara ou coroa com a moeda clássica, normal. Para que seja possível determinar o resultado do cara ou coroa, a gente precisa saber apenas - e esse apenas é entre aspas, porque já é bastante coisa - as propriedades da moeda e a força aplicada nela. Eu não preciso saber o que está acontecendo do outro lado do planeta, ou em outros pontos muito distantes, por exemplo. Por causa disso, a gente pode chamar esse cara ou coroa clássico de um fenômeno local, porque basta conhecer o sistema físico que a gente tá medindo, que é a moeda, e o que acontece no entorno desse sistema, para que tudo fique determinado.

**Leo** - Mas essa é uma moeda clássica. A próxima pergunta agora é: será que a gente pode assumir que sistemas quânticos também se comportam de maneira local? Ou seja, faz sentido assumir que tudo que afeta a medição em um elétron está ali, pertinho desse elétron?

**Bárbara Amaral:** Só que aí essa suposição junto com outras suposições que são completamente naturais, eles acabam fazendo previsões que não são

consistentes com o que a gente vê no laboratório, quando a gente faz medições em sistemas quânticos.

**Gláucia** - Ou seja, o que a gente vê no laboratório é que a tentativa de completar a teoria quântica, assumindo que os sistemas dependem apenas do que acontece próximo a eles, junto com outras suposições muito naturais como a Bárbara falou, essa tentativa falha! [awnn] Então a gente chega a outra característica peculiar da teoria quântica: a não-localidade [contundência] que de maneira simplificada, diz que os resultados de uma medição não podem ser pré-determinados por nenhuma variável que poderia ter influenciado o sistema.

**Bárbara Amaral:** Se a gente quer reproduzir o que a gente observa no laboratório com sistemas quânticos, usando essa intuição clássica, a gente chega numa contradição. E como a gente sabe que os experimentos são muito bem feitos e estão corretos, a gente tem que concluir que a gente não pode explicar esses experimentos com a intuição clássica.

**Leo** - São experimentos desse tipo que aparecem na pesquisa dos físicos Alain Aspect, John Clauser e Anton Zeilinger, que ganharam o prêmio Nobel de Física recentemente, em 2022. Eles lideraram vários experimentos nas décadas de 70, 80 e 90, explorando fótons com outra das propriedades contraintuitivas da quântica, que é o [eco] emaranhamento, que a gente vai falar mais no próximo bloco.

**Gláucia** - E uma das consequências desses experimentos foi obter evidências robustas de que não é possível completar a teoria quântica, pelo menos quando a gente assume hipóteses muito naturais. É verdade que essas evidências não excluem inteiramente outras formas contraintuitivas de completar a teoria quântica e torná-la determinística. Mas mostra que, para que haja chance disso acontecer, seria preciso, por exemplo, levar em conta informações possivelmente muito distantes do sistema quântico que a gente tá medindo. [congass] Ou seja, para que haja alguma chance da teoria quântica parecer determinística para você, você teria que ser uma espécie de demônio de Laplace, que sabe tudo sobre todos os pontos do universo.

[gato]

### **BLOCO 3: CRIPTOGRAFIA QUÂNTICA \*\*\*\*\***



**Lu** - Bom, então esses experimentos dos ganhadores do prêmio nobel que vocês comentaram eles basicamente mostram que, para todos os efeitos, os sistemas quânticos têm mesmo um comportamento inerentemente aleatório. Mas então essa aleatoriedade quântica, ela tem alguma aplicação prática?

**Gláucia** - Sim! Essa aleatoriedade é por exemplo um dos pilares da criptografia quântica, que é a área onde eu faço pesquisa.

**Lu** - Eu sei que criptografia tem a ver com trocar mensagens de forma segura, tipo tem criptografia no internet-banking e também nas mensagens do whatsapp, né?

**Gláucia** - Pois é, a criptografia estuda técnicas pra que a gente possa se comunicar de maneira segura, trocando mensagens de forma que elas não possam ser lidas por terceiros. Então a ideia da criptografia é usar uma cifra, que nada mais é do que uma regra pra encriptar, ou seja pra modificar a mensagem de forma que ela fique ininteligível, e aí só uma pessoa que também conhece os detalhes da cifra pode decifrar essa mensagem.

**Leo** - Tem várias cifras famosas que foram utilizadas ao longo da história, como a cifra de César que foi utilizada pelo Júlio César lá no século 1 antes de Cristo, em que a ideia era simplesmente transladar a posição das letras no alfabeto. Por exemplo, se eu escolho fazer uma translação de 2 posições, então o A vira C, o B vira D, o C vira E, e assim por diante. Outro exemplo bem mais sofisticado é a máquina Enigma, que foi usada pelo exército alemão na segunda guerra mundial e que envolve um algoritmo bem mais complicado e dinâmico pra encriptar a mensagem.

**Gláucia** - E talvez, quando você era criança, você já tenha usado uma cifra famosa no Brasil, que é a língua do P! Conhece, Lu?

**Lu** - p-Co p-nhe p-ço! Tá, mas até agora eu não consigo imaginar como é que a quântica ajuda aqui.

**Gláucia** - Bom, o problema é que todas essas cifras, apesar de algumas inclusive serem muito engenhosas, como as que a gente usa atualmente para encriptar nossos emails, internet-banking, etc, em princípio elas são quebráveis!

**Leo** - E ser quebrável significa que se a gente usa uma certa cifra pra encriptar várias mensagens, uma hora alguém pode conseguir decifrar o segredo da nossa

cifra. Inclusive, tem um livro muito legal, O Livro dos Códigos, do autor Simon Singh, que conta bem a luta travada entre os criptógrafos e os hackers ao longo da história.

**Gláucia** - Pensa na língua do P. Se tiver um adulto bem atento, talvez depois de um tempo escutando ele já consiga entender qual é a regrinha usada pra bagunçar a mensagem e a partir daí ele consegue entender tudo que as crianças estão falando. Então uma maneira de ter uma criptografia inquebrável é eu modificar a regra da minha cifra toda hora que eu for mandar uma nova mensagem.

**Lu** - Como assim modificar a regra da cifra?

**Gláucia** - Bom, a gente pode usar a cifra de César como exemplo. Em princípio, eu posso pensar na cifra de César da seguinte forma: eu escolho um número entre 1 e 26, que é o número de letras do alfabeto, e esse número vai me dizer de quantas posições eu preciso transladar o alfabeto pra encriptar a mensagem. Mas a ideia agora é: pra cada letra da minha mensagem eu vou sortear um número diferente pra definir a translação dessa letra.

**Lu** - Deixa eu ver se eu entendi, então se eu quiser encriptar a palavra OI eu preciso sortear dois números, aí por exemplo se eu sorteei 3 e 1 então o O se move 3 posições e vira R e o I translada 1 posição e vira J. Daí a palavra OI encriptada fica RJ, é isso?

**Gláucia** - Exato, e agora como cada letra foi encriptada usando um número que foi escolhido aleatoriamente, não tem uma regra geral pra ser descoberta. Então se você me mandar essa mensagem encriptada, a única maneira de eu conseguir ler é se eu souber quais são os números que você usou pra encriptar ela. E se esses números são aleatórios mesmo, não tem como eu e nem ninguém descobrir eles a não ser que você me conte.

**Lu** - Tá acho que agora eu tô vendo onde que a aleatoriedade quântica tá entrando aqui...

**Leo** - Pois é, se você usar a aleatoriedade que vêm das medições em sistemas quânticos, que é uma aleatoriedade intrínseca e não apenas aparente, para escolher os números que você usa na sua cifra, a sua mensagem tá totalmente segura! Só que tem um porém. Como a Gláucia falou, pra que a outra pessoa possa decodificar a sua mensagem, você precisa encontrar algum jeito de enviar esses números aleatórios para ela.

**Gláucia** - Em criptografia, a gente chama esses números aleatórios que você usa na sua cifra de [eco] chave secreta, então isso que o Leo descreveu se chama distribuição de chave secreta, que é um problema central na criptografia, já que basicamente as pessoas teriam que se encontrar pra trocar essas chaves.

**Lu** - Se encontrar tipo presencialmente? Sério?

**Gláucia** - Em princípio sim. Inclusive esse evento, que é chamado de cerimônia de chaves, ainda é usado hoje em dia quando se trata de encriptar informações muito sensíveis, como a comunicação entre bancos e empresas de cartão de crédito, por exemplo.

**Leo** - Então a quântica, além de fornecer a aleatoriedade necessária, resolve ao mesmo tempo o problema da distribuição dessas chaves secretas. A ideia é usar medições em sistemas quânticos pra gerar essa chave secreta a distância mesmo, sem que as partes precisem se encontrar.

**Gláucia** - Mas pra isso a gente precisa de um ingrediente essencial: o emaranhamento, que é uma daquelas propriedades estranhas da quântica que apareceu no bloco 2, quando a gente falou dos experimentos que levaram ao prêmio Nobel de 2022.

**Leo** - A gente não vai entrar a fundo nesse fenômeno, que tem várias sutilezas e consequências muito interessantes, mas pra tentar dar uma ideia, vamos voltar pro exemplo das moedas. Imagina que eu parti uma moeda ao meio, no sentido longitudinal, de modo que cada metade fique com uma face dela, aí coloquei cada uma dessas metades em um envelope e entreguei um desses envelopes pra você, Lu, e um envelope pra Gláucia. Quando você abrir seu envelope e ver que você ficou com o lado cara, o que vai estar no envelope da Gláucia?

**Lu** - Se eu fiquei com cara, a Gláucia tem que ter ficado com coroa.

**Leo** - Exato. Então esse é um exemplo de correlação, as metades de moeda que vocês receberam não são metades quaisquer, elas não são independentes uma da outra, a gente diz que elas estão correlacionadas. Como a gente tá falando de duas faces da mesma moeda, a face que você recebe e a face que a Gláucia recebe têm que ser opostas. Então quando você olha dentro do seu envelope, você deduz também o que tem no envelope da Gláucia.

**Gláucia** - Mas até aqui isso é só uma correlação clássica mesmo. Agora, se a gente usar um sistema quântico para fazer o papel dessa moeda, se em vez de falar em duas metades de uma moeda a gente fala de dois fótons, por exemplo, a gente tem essas propriedades estranhas da quântica à nossa disposição. Em particular, a gente pode usar um par de fótons emaranhados.

**Leo** - O emaranhamento, de forma bem simplificada, é uma superposição de correlações. Falando em termos de uma moeda, é como se cada uma de vocês recebesse novamente uma metade da moeda, só que não é nem a metade “cara” nem a metade “coroa”, porque o que a gente tem é uma superposição do caso em que a Lu recebe cara e a Gláucia recebe coroa e do caso oposto, em que a Lu recebe coroa e a Gláucia recebe cara.

**Lu** - Nossa, tá difícil, não to conseguindo visualizar isso.

**Leo** - É, é difícil de visualizar, mas colocando em outras palavras, é como se cada uma de vocês tivesse uma metade de moeda em superposição de cara ou coroa, mas de maneira correlacionada. Sempre que você medir, ou observar, a sua metade, e obtiver ‘cara’, a Gláucia vai obter ‘coroa’ na metade dela. E sempre que você medir e encontrar ‘coroa’, a Gláucia vai encontrar ‘cara’ na dela.

**Gláucia** - Essa definição de emaranhamento, como uma superposição de correlações, não deixa clara todas as nuances e consequências impressionantes que esse fenômeno gera. Mas, isso já mostra pra gente que o emaranhamento das moedas garante que no momento em que a gente abrir nossos envelopes, que é o análogo a fazer a medição no sistema, tem 50% de chance da Lu ter cara e eu ter coroa e 50% de chance da Lu ter coroa e eu ter cara.

**Leo** - Então, se a Gláucia e a Lu estiverem distantes uma da outra e quiserem escolher entre 0 ou 1 de maneira aleatória, elas podem usar dois fótons emaranhados para funcionar como as duas metades da moeda. Então elas podem combinar, por exemplo, que o resultado vai ser 0 se a Gláucia tirar cara e 1 se a Gláucia tirar coroa. A Gláucia só precisa medir a sua metade da moeda, o seu fóton, e a Lu sempre vai saber qual o resultado da Gláucia porque vai ser exatamente o oposto do resultado do fóton dela.

**Gláucia** - E lembrando, que o fóton é um pacotinho de luz, então quando o Leo fala de enviar fótons emaranhados para dois pontos distantes, aqui a gente pode pensar

simplesmente em enviar um sinal de luz mesmo, por exemplo, através de uma fibra óptica. O grande desafio é como manipular esse sinal para que ele tenha as propriedades que a gente precisa, e encontrar maneiras de lutar contra a decoerência, pra que o sinal chegue ao seu destino sem perder as propriedades quânticas.

**Leo** - Então resumindo, a teoria quântica, através do emaranhamento, dá pra gente os dois ingredientes essenciais pra criptografia: [plim] a aleatoriedade pra fazer com que ninguém tenha informações sobre a chave secreta e [plim] a correlação pra fazer com que duas pessoas distantes uma da outra obtenham a mesma chave.

**Lu** - Que legal, mas em que pé tá isso? Essa ideia de criptografia quântica tá só na teoria ainda ou já tem serviços e produtos disponíveis hoje?

**Gláucia** - A criptografia quântica, ou mais especificamente a distribuição quântica de chave secreta, é uma das tecnologias quânticas mais maduras que a gente tem no momento. Tem várias startups que oferecem produtos que vão de componentes até sistemas completos de criptografia, como por exemplo a startup suíça ID Quantique que já está no mercado há mais de 20 anos. E nas últimas duas décadas, várias redes de criptografia quântica, abrangendo pequenas distâncias, foram implementadas em diferentes lugares do mundo, e tem também algumas iniciativas surgindo no Brasil, como o projeto Rede Rio Quântica.

**Leo** - Um ponto interessante é que essas redes quânticas vão fazer uso das infraestruturas de comunicação já existentes, como fibras óticas e satélites.

**Gláucia** - Pois é, a gente tem comunicação quântica sendo implementada até usando satélites, o que permite cobrir distâncias bem maiores. E a China é a grande liderança dessa tecnologia. Ou seja, já tem tempo que essa tecnologia saiu do papel e isso só foi possível pelos avanços do nosso entendimento sobre a teoria quântica.

[gato]

## **ENCERRAMENTO** \*\*\*\*\*

**Lu** - Ok, depois de todo esse papo de probabilidades, embaralhamento, emaranhamento e criptografia quântica, o meu papel aqui no podcast é perguntar: por que a gente trouxe essas discussões e o que elas têm a ver com pseudociência?

**Leo** - Então, a gente decidiu dedicar um episódio inteiro para falar da natureza probabilística da teoria quântica justamente porque é muito difícil pro ser humano aceitar que algo seja essencialmente probabilístico. Fica parecendo apenas que a gente não entende direito esses fenômenos e que a teoria precisa de algum complemento. E quando a pseudociência se depara com essa situação, ela tem uma saída simples: para a pseudociência, o que tá faltando na teoria quântica, a peça que se encaixa perfeitamente e que os cientistas são preconceituosos demais para admitir é a [eco] consciência humana.

[chiado]

*“Física quântica calcula apenas possibilidades, mas se aceitamos isso, então a questão imediatamente aparece: quem ou o que escolhe entre essas possibilidades de trazer o evento real de experiência? Então nós diretamente, imediatamente vemos que a consciência deve estar envolvida.”*

[chiado]

**Gláucia** - Essas falas foram retiradas do filme Quem somos nós, de 2004. A gente já comentou em episódios passados que esse filme ilustra bem o quanto as ideias da teoria quântica são deturpadas e transportadas para outro contexto. E os conceitos que a gente trouxe aqui nesse episódio, como probabilidades e a possível incompletude da teoria, também são frequentemente explorados pela pseudociência.

[chiado]

*“Todas essas coisas não são nada além de possíveis movimentos de consciência. Estou escolhendo momento a momento dentre esses movimentos para trazer minha verdadeira experiência à manifestação.”*

[chiado]

**Leo** - Dá para notar que essas falas ressoam com os pontos que a gente discutiu aqui no episódio, não é como se elas fossem inventadas do nada. [baixo] Então será que no fundo elas não podem fazer algum sentido? Afinal de contas, qual é a relação entre teoria quântica, como a conhecemos hoje, e a consciência humana? Esse é o tema do nosso próximo e último episódio.

[gato]

**CRÉDITOS** \*\*\*\*\*

**Leo** - No nosso site, você encontra os artigos sobre aprendizado de probabilidades por animais, artigos matemáticos do Persi Diaconis, um vídeo dele falando sobre embaralhamento de cartas e o artigo seminal do trio EPR que discute a completude da teoria quântica. Nesse episódio você escutou trechos das nossas entrevistas com a Gabriela Barreto Lemos e com a Bárbara Amaral. Nós também usamos trechos dos canais de YouTube Tiago Benevides, Numberphile e do filme Quem somos nós, de 2004.

**Gláucia** - Se você gostou do episódio, você pode ajudar a gente recomendando o podcast para aquele amigo ou amiga que se interessa pelo tema. Siga também o Q Quântico no instagram @oqquantico e não deixe de avaliar o podcast na sua plataforma de podcast favorita.

**Lu** - O Q Quântico é apresentado por mim, Luciane Treulieb, pela Gláucia Murta e pelo Leonardo Guerini.

Além de nós três, a Samara Wobeto e o Vitor Zuccolo completam o time de produtores do podcast

O roteiro do episódio é do Leonardo Guerini e da Gláucia Murta, com contribuições minhas e da Samara Wobeto

A Idealização do projeto é do Leonardo Guerini e da Gláucia Murta

A Consultoria de roteiro é feita pela equipe do podcast Ciência Suja

A edição de som é do Leonardo Guerini

A mixagem é do Felipe Barbosa

O suporte de gravação é do Pablo Ruan

A música original é do Pedro Leal David

e a Identidade visual e as ilustrações de capa são do Augusto Zambonato

Quem cuida das nossas mídias sociais é a Milene Eichelberger e

O nosso site foi desenvolvido pelo Daniel Carli

**Gláucia** - O Q Quântico é produzido dentro de universidades públicas. A gente contou com o apoio de diversos funcionários das nossas instituições que contribuíram para que o podcast chegasse ao seu formato final. Nós agradecemos o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do cluster de excelência “Matter and Light for Quantum Computing” da Alemanha. E o suporte e infraestrutura da Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e das rádios da Universidade Federal de Santa Maria.

Obrigado pela audiência e até o próximo episódio!

[transição - gato]