

# A INULINA E SEUS BENEFÍCIOS

A inulina é um carboidrato de reserva naturalmente presente em mais de 30.000 vegetais. Sua aplicação na indústria de alimentos deve-se, principalmente, às propriedades que a tornam capaz de substituir o açúcar ou a gordura, com a vantagem de não resultar em incremento calórico.



## A INULINA

A inulina é um carboidrato largamente encontrado na natureza, funcionando como carboidrato de reserva em muitas plantas. As plantas apresentam hidrólise da inulina endógena em moléculas de menor grau de polimerização, o que permite a sobrevivência destas plantas durante o inverno em regiões frias e moderadamente frias, e atua na osmorregulação.

A inulina é derivada da raiz da chicória e encontrada também em muitas plantas que fazem parte da dieta humana básica há muito tempo, sendo a cebola a mais consumida entre elas. A concentração de inulina em cada planta depende muito da variedade, do tempo decorrido desde a colheita até a utilização desta e das condições de estocagem. Na cebola, dependendo destes fatores, a concentração de inulina pode chegar a até 50% da matéria seca.

Outros vegetais, do mesmo gênero da cebola, que contêm inulina são alho-porró e alho, os quais apresentam, respectivamente, 18% a 60% e 22% a 40%, da matéria seca em inulina.

Existem ainda outros vegetais que contêm consideráveis concentrações de inulina e são bastante consumidos. Entre eles, salientam-se o aspargo que contém, em base seca, cerca de 30% de inulina nas raízes; a alcachofra apresenta 65% em inulina; a barba de bode,



com mais de 50% da matéria seca em inulina; e as raízes tuberosas de dália, que fornecem, em base seca, um rendimento de 50% de inulina.

Além dos vegetais, muitos cereais também contêm inulina. Entre eles estão o trigo, a cevada e o centeio, com concentrações variando entre 1% a 4%.

Para a maioria das fontes (alho, cebola, aspargo), as concentrações de inulina estão entre 0,3% a 6% do peso fresco, podendo chegar a 10% para a barba de bode. Entretanto, para alcachofra de Jerusalém, chicória, dália e yacon, as concentrações de inulina podem chegar até 20% do peso seco, fazendo destes vegetais importantes fontes de inulina.

## EXTRAÇÃO E PROPRIEDADES

Os métodos convencionalmente utilizados para extrair inulina de raízes de chicória incluem algumas etapas básicas: lavagem dos tubérculos; fatiamento ou moagem dos tubérculos; extração da inulina com água; tratamento do extrato com dióxido de carbono e cal; filtração e recuperação da inulina por precipitação ou evaporação.

A inulina é um carboidrato solúvel em água, com solubilidade dependente da temperatura. À temperatura de 10°C, a solubilidade da inulina é de 6%, ao passo que a 90°C, cresce para aproximadamente 35%. Por essa razão,

quando a inulina é resfriada ou congelada, ocorre uma precipitação dos frutooligossacarídeos, provocada pela redução da temperatura.

Baseando-se nessas características da inulina, foi proposto um processo para obtenção de um concentrado de inulina, utilizando a técnica de abaixamento de temperatura e posterior separação física. No processo, a inulina é extraída das raízes de chicória por difusão em água quente. O extrato obtido é então filtrado e concentrado por evaporação. O extrato concentrado é levado a uma câmara de congelamento (com temperaturas entre -8°C e -50°C), onde ocorre a decantação. Após descongelamento dos extratos, é feita a separação física entre as fases sobrenadante (líquida) e precipitada (semelhante a um creme), obtidas pelo abaixamento de temperatura do extrato.

O congelamento do extrato líquido de inulina à temperatura de -15°C originou um precipitado mais rico em inulina do que o resfriamento do extrato a 8°C ou o congelamento do mesmo a -11°C, o qual pode ser levado ao *spray dryer* para a obtenção do produto em pó. O congelamento do extrato concentrado de inulina, à temperatura de -24°C, seguido pelo descongelamento à temperatura ambiente e centrifugação à velocidade de 10.000 rpm durante 15 minutos, resultou em um processo com elevado rendimento de precipitação de inulina.





A comercialização da inulina é realizada preferencialmente com o produto em pó, obtido através da secagem por atomização (*spray dryer*). Essa escolha está relacionada às facilidades de manipulação, transporte, armazenamento e consumo.

Para que haja um bom rendimento no processo de secagem por atomização, é necessário que o processo de extração resulte em um extrato líquido com alta concentração de inulina. Ao final do processo de secagem, é preciso conhecer as propriedades do pó resultante, de forma que seja possível avaliar a influência dos parâmetros de secagem sobre as características e sobre a estabilidade do produto final.

Durante a armazenagem, os alimentos são expostos a condições de temperatura e umidade relativa variadas. Nessas condições, perdem ou ganham água para ajustar a sua umidade ao equilíbrio com o ambiente. Quando a umidade da inulina em pó varia, algumas alterações físicas, tais como a aglomeração ou o endurecimento, podem ocorrer. Com a finalidade de determinar e compreender as alterações nas propriedades físico-químicas relacionadas à absorção de água, alguns parâmetros físicos podem ser avaliados.

A microscopia eletrônica de varredura tem se mostrado uma ferramenta eficiente para determinação e observação do fenômeno de aglomeração que ocorre na superfície de polissacarídeos. Entretanto, a literatura sobre a utilização dessa técnica aplicada a biopolímeros é muito escassa.

A inulina extraída de plantas, após a secagem, apresenta-se como um pó

branco, amorfo, higroscópico, com odor e sabor neutros, tendo densidade de aproximadamente 1,35 e peso molecular de 1600.

A solubilidade da inulina varia em função da temperatura da água. A solubilidade é de

aproximadamente 6% a 10°C, enquanto que a 90°C é de 35%, o que dificulta seu emprego à temperatura ambiente. A inclusão de resíduos, ainda que lipofílicos, altera esta situação e tais derivados têm demonstrado capacidade de induzir enzimas desfragmentadoras de inulina, ou seja, as inulinases.

A inulina tem uma capacidade de ligação de água de 2:1, ou seja, duas moléculas de água para cada molécula de inulina. Em solução, a inulina reduz o ponto de congelamento da água e aumenta o ponto de fusão.

A funcionalidade da inulina está baseada em seu efeito sobre soluções aquosas a vários níveis de sólidos. À medida que a concentração de inulina aumenta, a viscosidade aumenta gradativamente.

Para formar gel, a inulina tem que estar numa concentração em que se apresenta em discretas partículas. As-

sim, quando o nível de inulina atinge 30% de sólidos em solução aquosa, a combinação inulina/água inicia a gelificação. Neste nível, o gel é formado sob resfriamento por 30 a 60 minutos. Quando o nível de inulina aumenta, o gel precisa de menos tempo para ser formado, sendo praticamente instantâneo quando o nível de sólidos em solução está entre 40% a 45%.

O gel de inulina é muito cremoso e assemelha-se à textura da gordura ao toque, e sua força depende principalmente da concentração de inulina, entre outros fatores.

A disponibilidade de água é o fator que mais afeta as características do gel. Entretanto, o tamanho da cadeia de inulina (grau de polimerização), concentrações de mono e dissacarídeos presentes, tamanho das partículas de inulina, método de preparação, temperatura, adição de outros hidrocolóides e cátions mono e divalentes também podem afetar o gel.

## BENEFÍCIOS À SAÚDE

Um número cada vez maior de pesquisas demonstra que uma suplementação com inulina na alimentação tem uma importância ampla e cumulativa para a saúde humana, começando na infância, englobando a vida adulta e se estendendo até a velhice.

O leite materno é o alimento ideal para um bebê, recomendado inclusive



como única fonte alimentar até os seis meses de idade pelo Ministério da Saúde e também pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Algumas mulheres, no entanto, não conseguem amamentar, e outras preferem não fazê-lo por uma série de motivos. É impossível copiar exatamente a composição do leite materno. O objetivo das fórmulas infantis é chegar o mais próximo possível do leite materno para apoiar da melhor forma a saúde, o desenvolvimento e o conforto.

Uma das principais diferenças entre o leite materno e as fórmulas infantis é que, com o aleitamento materno, há uma predominância de bifidobactérias no cólon. Isso indica que o leite materno contém compostos bífido estimulantes. Acredita-se que estes sejam oligossacarídeos, uma classe de compostos que incluem a inulina.

Em bebês, acredita-se que as bifidobactérias têm um papel importante no desenvolvimento das funções imunológicas dos intestinos e os protegem dos microorganismos prejudiciais. É sabido que os bebês amamentados com leite materno são geralmente mais saudáveis do que os bebês que são alimentados com fórmulas infantis padrão. Há um consenso crescente entre os pesquisadores de que as bactérias intestinais têm um papel importante nisso. As bifidobactérias podem ter um papel importante no estágio inicial da vida, ao inibir as bactérias putrificantes e patogênicas, inibindo novas colonizações e o crescimento das colônias já presentes.

Estudos conduzidos ao longo da última década indicaram como benefícios da suplementação da alimentação de

bebês e crianças com inulina o aumento nos níveis de bifidobactérias (numerosos estudos), a manutenção de altos níveis de bifidobactérias colônicas após tratamento com antibióticos sem sintomas digestivos; as características das fezes (frequência e consistência) muito mais próximas das dos bebês amamentados com leite materno do que daqueles alimentados com as fórmulas infantis padrão, sem inulina, e a habilidade de estabilizar a composição da microflora intestinal.

Estudos demonstraram que a inulina trabalha para ajudar a melhorar o desenvolvimento de anticorpos em crianças que estão começando a andar, que receberam a vacina contra o sarampo. Outro estudo mostrou uma diminuição significativa em diversas condições pediátricas, como diarreia, vômitos, febre e flatulência.

A suplementação com inulina demonstrou repetidamente ser tanto segura como também bem tolerada por bebês e crianças que estão começando a andar. E demonstrou também que diminui o desconforto e flatulência gastrointestinais. O amolecimento das fezes também foi outro benefício apresentado. Isto é muito importante porque fezes duras e constipação são problemas comuns entre bebês alimentados com fórmulas infantis.

A evidência em bebês, bem como em outros grupos etários pode indicar que começar com a suplementação de inulina no início da vida pode melhorar a saúde a curto e longo prazo. Isto é particularmente verdadeiro se considerarmos a importância por toda a vida de boas práticas alimentares como a

base da saúde do organismo como um todo e sua ajuda para evitar muitos dos atuais problemas de saúde mais comuns relacionados à alimentação.

Em adolescentes, estudos demonstraram o potencial da inulina, especialmente da

inulina enriquecida com oligofrutose, para melhorar a absorção de cálcio e a mineralização óssea em jovens adolescentes.

Um estudo realizado durante o período de um ano, comprovou que a retenção e o acréscimo do cálcio nos ossos foram aumentados em até 15% no grupo que recebeu o suplemento com a inulina enriquecida com oligofrutose, em comparação com o grupo de controle. O suplemento também aumentou de forma significativa a densidade mineral óssea.

A absorção de uma quantidade adequada de cálcio é particularmente importante durante a adolescência para poder obter um pico de massa óssea ideal. Garantir que a quantidade máxima de cálcio seja retida nos ossos na vida adulta reduz o risco de desenvolver condições como a osteoporose em idade mais avançada.

Estudos também demonstraram que incluir a inulina na alimentação ajuda a modular os níveis no sangue de poderosos hormônios envolvidos na regulação do apetite. A manutenção de um peso saudável durante os anos da adolescência tem implicações para a saúde futura.

Um estudo analisou os efeitos da suplementação com a inulina enriquecida com oligofrutose sobre o controle do peso em adolescentes não obesos de 9 a 13 anos durante o período de 1 ano. Além de aumentar a densidade mineral óssea, foi interessante notar que o incremento do Índice de Massa Corporal (IMC) durante esse ano de intervenção foi muito mais baixo no grupo que consumiu o suplemento em comparação com o grupo de controle. O peso corporal e a massa de gordura corporal foram também significativamente mais baixos no grupo que teve o suplemento do que dos grupos de controle. O benefício foi maior na presença de um consumo adequado de cálcio. Outro fato relevante foi que no período de acompanhamento posterior, a diferença no IMC entre os dois grupos foi mantido e até aumentou, mesmo após a finalização da suplementação, por um ano inteiro.

Esse estudo demonstra o potencial da suplementação alimentar com inulina para beneficiar a modulação do IMC e as mudanças na composição do





organismo durante o crescimento na puberdade e para evitar um ganho de peso indesejável durante este estágio crítico da vida.

Em adultos, a inulina é de longe o ingrediente prebiótico mais bem estabelecido cientificamente no mercado. Diversos estudos de intervenção humana confirmaram de forma significativa seu efeito prebiótico em adultos. Esse equilíbrio digestivo melhorado é responsável pela maioria de seus benefícios positivos para a saúde. Estudos de intervenção humana mostram que com o consumo regular de um suplemento de inulina, bifidobactérias benéficas no intestino são estimuladas e aumentam em quantidade de 5 a 10 vezes; o nível de organismos prejudiciais no trato digestivo, como a *clostridia*, é reduzido; as bifidobactérias previnem a colonização do intestino pelos patógenos, criando um efeito de barreira e também produzem uma gama de ácidos graxos de cadeia curta que baixam o pH geral do sistema digestivo; e o

decréscimo do pH no cólon também demonstrou facilitar uma maior absorção de cálcio e magnésio no organismo.

Um sistema digestivo mais saudável promove uma maior sensação de bem-estar. Todo o organismo pode se tornar mais saudável, com efeitos positivos sobre o desempenho do humor e da mente. Evidências científicas indicam que a suplementação com inulina aumenta

a saciedade, ajudando as pessoas a se sentirem satisfeitas por mais tempo.

Adicionar inulina à alimentação aumenta os níveis de bifidobactérias, que ajudam a reforçar as defesas naturais do organismo, um aspecto importante da proteção do sistema digestivo. Pesquisas mostraram o papel importante que a fibra prebiótica tem em melhorar a saúde digestiva e sua eficiência; já está bem estabelecido que uma boa saúde digestiva é uma peça chave para uma melhor absorção mineral e saúde óssea, bem como para o bem-estar geral.

Pesquisas indicaram que uma suplementação simbiótica, com a combinação de inulina e oligofrutose com probióticos (bactérias benéficas), reduz os biomarcadores chaves do risco de câncer colo retal, especificamente em indivíduos com alto risco.

Em um estudo, voluntários com risco de câncer do cólon tomaram um placebo ou um suplemento simbiótico diário (inulina/oligofrutose combinada com duas culturas probióticas). Após 12 semanas, foram realizados testes para estabelecer mudanças nos marcadores de risco de câncer de cólon. Os pacientes do grupo simbiótico experimentaram reduções dramáticas nos marcadores de risco chave. Por exemplo, o dano ao DNA do tecido das mucosas diminuiu e



a movimentação das células foi normalizada. Os pesquisadores concluíram que um suplemento simbiótico diário tem um impacto favorável sobre diversos marcadores prematuros do risco de câncer do cólon.

Os benefícios da inulina na terceira idade também já foram comprovados. Um crescente volume de informações sobre as complexas conexões entre a alimentação e a saúde mostra a importância de uma alimentação correta para moderar os efeitos do envelhecimento em geral e o envelhecimento digestivo em particular. Pesquisadores identificaram mudanças específicas no equilíbrio dos microrganismos digestivos que provavelmente são parcialmente responsáveis por alguns dos crescentes problemas digestivos que são muito comuns na idade avançada.

Um importante estudo examinou a composição bacteriana dos intestinos de pessoas saudáveis com idade de 65 anos ou mais, em comparação a adultos saudáveis mais jovens, na faixa etária dos 20 a 45 anos. Os pesquisadores avaliaram mudanças relacionadas com a idade na composição da microflora e seus efeitos sobre a saúde e o bem-estar. Compararam uma gama de parâmetros de bem-estar e saúde relacionados com a qualidade de vida dos idosos. Conforme as pessoas envelhecem, os níveis de bactérias benéficas no intestino tendem a diminuir, colocando os idosos sob um risco maior de contrair doenças e desconforto gastrointestinais. Os pesquisadores também avaliaram o impacto de uma suplementação simbiótica sobre esta população mais idosa. Os resultados indicaram que o nível de bifidobactérias aumentou significativamente nos voluntários que tomaram o suplemento e que seus hábitos de evacuação e bem-estar em geral melhoraram.

Existem amplas evidências de que manter um trato digestivo saudável, iniciando com um equilíbrio positivo de microrganismos, é vital para manter uma boa saúde e vitalidade em qualquer idade. Especialmente no envelhecimento, um sistema digestivo mais saudável traz consigo uma sensação definida de bem-estar pessoal e qualidade de vida.

Outros estudos clínicos sugeriram que a suplementação com inulina en-



riquecida com oligofrutose pode ajudar a melhorar a absorção mineral e tem um impacto sobre o fortalecimento dos ossos em mulheres pós-menopausa.

### APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A aplicação da inulina na indústria de alimentos deve-se, principalmente, às propriedades que a tornam capaz de substituir o açúcar ou a gordura, com a vantagem de não resultar em incremento calórico. Pode-se, desse modo, empregá-la como ingrediente em uma série de alimentos, tais como chocolates, sorvetes e iogurtes, entre outros. Sua utilização em produtos com baixa caloria e teor de gordura reduzido já é bastante difundida em países da Europa, nos Estados Unidos e no Canadá.

A propriedade da inulina de substituir gordura se baseia na formação de partículas de gel com água, quando submetida a uma força de cisalhamento. O gel resultante apresenta uma textura similar à da gordura e confere o paladar desejado. Diferente das fibras insolúveis, cuja grande capacidade de absorção de água afeta a viscosidade, a inulina pode substituir a gordura immobilizando a água durante a formação das partículas de

gel. Além disso, a inulina tem um sabor neutro e não tem nenhum impacto sobre as propriedades sensoriais.

A indústria de alimentos já reconheceu a oportunidade de formular alimentos com um baixo nível de calorias, carboidratos, zero açúcar e zero gordura para atender à demanda dos consumidores por produtos que ajudem no combate à obesidade e outras numerosas doenças relacionadas à alimentação. Um crescente número de formuladores de produtos encontrou uma boa solução ao usar a inulina em combinação com um ou mais edulcorantes intensos. A inulina não apenas contribui com um dulçor parcial, mas também oferece uma redução de 50% das calorias em comparação ao açúcar, oferece benefícios prebióticos e tem a habilidade de mascarar os sabores indesejados associados aos edulcorantes intensos.

A capacidade de mascarar sabores indesejados da inulina também pode ser utilizada para remover o sabor persistente e característico associado a formulações enriquecidas com vitaminas ou receitas com ingredientes a base de soja.

Um benefício adicional quando se usa a inulina da chicória é sua propriedade de potencializador de sabor, aumentando a intensidade percebida dos



sabores de frutas em uma formulação, por exemplo.

Uma mistura de acessulfame-k e aspartame com inulina apresenta efeito sinérgico quantitativo na intensidade do dulçor correspondente a 15% a 35%, dependendo da aplicação e formulação. Sinérgias também podem ser obtidas em iogurtes, por exemplo, usando uma combinação de oligofrutose com sucralose ou com sucralose/acessulfame-k.

Quando se utiliza a inulina natural em combinação com edulcorantes intensos, em alimentos e bebidas, além de substituir o açúcar e melhorar o sabor, também estão adicionando fibras prebióticas à mistura. Estas representam uma defesa adicional através da alimentação contra a obesidade e diabetes, além de outras desordens digestivas que a fibra alimentar, de um modo geral, impacta de forma positiva.

Outra característica importante da inulina está associada às suas propriedades nutricionais, atuando no sistema digestivo de maneira similar às fibras dietéticas, contribuindo para o incremento dos benefícios das bifidobactérias e, conseqüentemente, para a melhoria das condições de todo o sistema gastrointestinal.

As fibras alimentares foram definidas pela AOAC como “resíduos de células vegetais resistentes a hidrólise pelas enzimas alimentares humanas”. No Brasil, o Ministério da Saúde, através

da portaria n.º 41, de 14/01/1988 definiu fibras alimentares como “qualquer material comestível de origem vegetal que não seja hidrolisado pelas enzimas endógenas do trato digestivo humano, determinado segundo o método enzimático gravimétrico 985.19 da AOAC, 15ª edição, 1990 ou edição mais atual”.

A definição fisiológica de fibra alimentar relaciona-a a uma melhora da função intestinal. Embora não haja uma lista oficial das funções fisiológicas que a fibra deve possuir para se enquadrar nesta definição, geralmente os efeitos fisiológicos aceitos de fibra incluem, além de um efeito sobre a função intestinal, a melhora de parâmetros lipídicos sanguíneos. As fibras alimentares também apresentam um valor calórico reduzido.

Quase toda a inulina ingerida é fermentada pela microbiota intestinal, sendo convertida em ácidos graxos de cadeia curta (acetato, propionato e butirato), lactato, biomassa bacteriana e gases. Somente o metabolismo dos ácidos graxos de cadeia curta e do lactato contribuem para o metabolismo energético do hospedeiro.

As perdas calóricas devem-se ao fato de parte da energia ser usada para a síntese de biomassa microbiana e isso produz gases, como hidrogênio, metano e dióxido de carbono. Somente uma fração do valor da energia original é conservada nos ácidos graxos de

cadeia curta, mas ainda assim, tecidos do hospedeiro usam somente parte da energia dos ácidos graxos de cadeia curta, e alguns dos ácidos graxos de cadeia curta são excretados. Entretanto, o lactato é largamente absorvido e pode ser uma fonte de energia para as próprias bactérias.

O valor calórico das substâncias obtidas da fermentação da inulina foi estimado em 1 a 3 kcal/g.

A inulina influencia a função intestinal pelo aumento da frequência das evacuações, particularmente em pacientes constipados. O aumento do peso das fezes nas evacuações, (cerca de 2g por g de inulina ingerida, e a diminuição do pH fecal, devido à fermentação, têm sido relacionados à supressão da produção de substâncias putrefativas no cólon.

Adicionalmente, observa-se uma diminuição dos triacilgliceróis e níveis de colesterol plasmáticos em pacientes hipercolesterolêmicos. Esses efeitos são relacionados a uma atividade reduzida das enzimas lipogênicas hepáticas.

Sendo a inulina resistente à digestão na porção superior do trato intestinal, alcança o intestino grosso praticamente intacta, onde é fermentada pelas bactérias, podendo, então, ser classificada como fibra alimentar solúveis.

A evidência da relação entre fibra alimentar e doença cardiovascular aterosclerótica é muito forte e surgiu a partir de estudos em animais, observações epidemiológicas e de um número limitado de ensaios clínicos. Após vários estudos sobre essa relação, concluiu-se que uma dieta deficiente em fibra poderia contribuir para uma maior incidência de doenças coronárias.

As fibras alimentares, especialmente as solúveis ou viscosas, efetivamente diminuem o colesterol sérico e as concentrações do colesterol LDL, que tem papel central na patogênese da aterosclerose, podendo contribuir na proteção contra doenças coronárias.

Os efeitos das fibras solúveis ou viscosas na diminuição do colesterol estão relacionadas com suas propriedades de formação de gel, diminuição da absorção de ácidos biliares e a ação dos ácidos graxos de cadeia curta produzidos na fermentação sobre a função hepática. Além disso, verifica-se que as fibras



podem também atuar sobre fatores de risco para doenças coronárias, como hipertensão, obesidade e diabetes.

Embora os dados obtidos de estudos com animais sugiram convincentes propriedades redutoras de lipídios pela inulina, poucas informações de estudos com humanos são evidentes, pois as doses que podem ser aplicadas em seres humanos são muito menores que aquelas que tem sido usadas para obtenção de efeitos em animais.

Estudos com voluntários humanos indicam que a inulina tem um efeito modulatório nos parâmetros lipídicos. Foi relatado que o consumo de frutanas reduz triacilgliceróis e colesterol séricos, principalmente LDL, em voluntários hiperlipidêmicos. Entretanto, parâmetros lipídicos de adultos normais não foram afetados.

Apesar das informações obtidas ainda serem consideradas inconsistentes, pode-se afirmar que o consumo de inulina afeta o metabolismo lipídico humano no sentido de diminuir o colesterol total.

Em adição aos benefícios para o metabolismo lipídico, a influência protetora e inibitória da inulina no desenvolvimento do câncer e crescimento de tumor vem sendo muito discutido. A inulina estimula seletivamente o crescimento de bifidobactérias e mantém em níveis baixos os Bacteroides, Clostridia ou coliformes, contribuindo na prevenção de câncer de cólon. Estudos demonstraram que a administração de inulina aumenta significativamente as bifidobactérias

fecais, produtoras do ácido lático, diminuindo o pH fecal e criando um microambiente bactericida para bactérias putrefativas, desenvolvendo assim, um microambiente favorável.

Este microambiente pode envolver também a modulação de enzimas bacterianas, como  $\beta$ -glicuronidase, que pode converter procarcinógenos em carcinógenos.

Estudos demonstraram a atividade imunoestimulante da inulina em ratos. A ingestão desta resultou em um aumento na produção de macrófagos que matam células cancerosas.

Estudos demonstraram, ainda, uma capacidade aumentada de detoxificação do fígado (citocromo P450) em ratos alimentados com inulina. A produção de glutathion-S-transferase e glucoronil-transferase foi aumentada. Estas enzimas metabolizadoras de xenobióticos podem exercer um papel importante contra produtos carcinogênicos.

Embora os prováveis mecanismos pelos quais a inulina inibe as lesões pré-neoplásicas do cólon não sejam completamente entendidos, estudos sugerem que os efeitos deste agente pode envolver a modulação da microbiota no cólon.

Segundo pesquisadores, a fermentação da inulina é mais rápida e produz relativamente mais ácido butírico e menos ácido propiônico que os farelos de cereais. Este butirato é capaz de inibir a proliferação de um grande número de células *in vitro*, inclusive, de células tumorais.

Embora a atuação do butirato não seja o único mecanismo pelo qual a inulina pode inibir o câncer de cólon, ele pode explicar em parte porque este agente parece ser protetor. Estudos mostraram que a apoptose foi significativamente maior no cólon de ratos alimentados com inulina, quando comparado com o grupo padrão alimentado com dieta basal. Sabe-se que fatores que aumentam a apoptose podem reduzir as chances de formação de tumor no cólon.

Efeitos adicionais à saúde, devidos ao aumento da absorção de minerais, principalmente o cálcio, também estão sendo relacionados ao consumo de inulina. A ingestão frequente de inulina diminui ou preveniu a perda de massa óssea, cálcio e fósforo dos ossos de ratos gástricotomizados e a perda de densidade mineral óssea por ratos ovariectomizados. O aumento da absorção de minerais em ratos alimentados com estes carboidratos foi associado à diminuição do pH do íleo e cécum, hipertrofia das paredes do cécum e aumento nas concentrações de ácidos graxos voláteis, ácidos biliares, cálcio, fosfato e diminuição no magnésio, no conteúdo cecal.

Não foi observado nos estudos efeitos na absorção de cálcio e ferro em humanos adultos após a ingestão de inulina. Entretanto, foi observado que a inulina aumentou a absorção de cálcio, mas não a absorção de magnésio, ferro e zinco em humanos. Trabalhos futuros são ainda necessários para a validação dos resultados obtidos com relação à absorção de minerais.

## CONCLUSÃO

Doenças do coração, câncer, estresse, colesterol alto, controle de peso, osteoporose e diabetes são, atualmente, as maiores preocupações de saúde. Sendo assim, o foco na prevenção de doenças por meio dos alimentos está muito forte. Isso faz com que a inulina apareça como importante ingrediente alimentício que pode ser largamente explorado pela indústria de alimentos, visando à produção de alimentos funcionais.