



*O texto a seguir é uma publicação da revista bilingue Uniso Ciência, da Universidade de Sorocaba, para fins de divulgação científica.*

*The following story is part of the bilingual magazine Science @ Uniso, published by the University of Sorocaba, for the purpose of scientific outreach.*

*Acesse aqui a edição completa/  
Follow the link to access  
the full magazine:*



**Pesquisa resulta na descoberta de**  
**MATERIAIS**  
**METÁLICOS COM**  
**MAIOR QUALIDADE**

**Research results in the discovery of**  
**BETTER METALLIC**  
**MATERIALS**

**Por/By: Marcel Stefano**  
**Foto/Photo: Paulo Ribeiro**

"Cada vez mais, estamos dependentes dos metais", afirma Rafael Fonseca Beccari  
"Over time, we have been relying on metals more and more," says Rafael Fonseca Beccari

A panela, o garfo e a latinha de refrigerante. O carro, o avião e o navio. O brinco, a presilha do cabelo e a pulseira... Basta olhar a nossa volta para encontrar milhares de produtos feitos de metal. Desde a pré-história, o ser-humano utiliza este tipo de material para fabricar ferramentas e produtos que facilitam a nossa vida.

“E, cada vez mais, estamos dependentes dos metais”, afirma Rafael Fonseca Beccari, pesquisador da Universidade de Sorocaba (Uniso). “Embora o ser-humano utilize metais como bronze, ferro e cobre, há mais de 5 mil anos, a maioria dos metais de alto desempenho foram desenvolvidos nos últimos 150 anos. E, na última década, surgiu um novo paradigma para o design de ligas (mistura de dois ou mais metais) para melhorar o produto”, explica Beccari.

Para contribuir com o aperfeiçoamento das ligas metálicas, Beccari desenvolveu uma importante pesquisa para sua dissertação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Uniso. Ele criou uma série de ligas equiatômicas (mesma concentração molar) de alta entropia compostas de seis a nove elementos, resultando em materiais inéditos e de qualidade. “As ligas que produzi apresentaram propriedades de dureza excepcionais, superando trabalhos semelhantes da literatura mundial”, ressalta o pesquisador.

O estudo, que resultou na dissertação chamada de “Projeto e Caracterização de Ligas Multi-elementares”, foi apresentado em 2019 e produzido sob a orientação do professor doutor Thomaz Augusto Guisard Restivo.

### APERFEIÇOANDO O METAL

Apesar de todos os avanços na metalurgia, muitas ligas metálicas continuam apresentando defeitos que podem aparecer de diversas formas. Recentemente, em 2004, um novo conceito em metalurgia física foi introduzido, chamado de Ligas de Alta Entropia (LAEs). Essas ligas são definidas como tendo mais de cinco elementos metálicos principais, cada um com uma porcentagem atômica entre 5% e 35%.

A pan, a fork, and a soda can. A car, a plane, and a ship. An earring, a hair clip, a bracelet... Just look around and you will find thousands of products made of metal. Since prehistory, human beings have been using this type of material to manufacture tools and products that make our lives easier.

“And we have been relying on metals more and more over time,” says Rafael Fonseca Beccari, a researcher at Uniso. “Although humans have been using metals such as bronze, iron, and copper since more than 5,000 years ago, most of the high-performance metals were developed in the last 150 years. And, in the last decade, a new paradigm for the design of alloys (mixtures of two or more metals) has emerged to improve the product,” Beccari explains.

In order to contribute to the improvement of alloys, Beccari developed an important research as his Master’s thesis at Uniso’s graduate program in Technological and Environmental Processes. He created a series of high entropy equiatomic alloys (namely, those of same molar concentration) composed of six to nine elements, resulting in brand new quality materials. “The alloys I produced showed exceptional hardness, surpassing similar works available in the literature around the world,” the researcher says. The study, which resulted in the thesis called “Design and Characterization of Multielement Alloys,” was advised by professor Thomaz Augusto Guisard Restivo, and presented in 2019.

### PERFECTING METALS

Despite all the advances in metallurgy, many alloys still have defects that can appear in different ways. Recently, in 2004, a new concept in physical metallurgy was introduced, called High Entropy Alloys (HEAs). These alloys are defined by having



Beccari: "Na última década, surgiu um novo paradigma para o design de ligas"  
Beccari: "During the last decade, there was a new paradigm for the design of alloys"

Na liga ideal, todos os elementos possuem a mesma porcentagem atômica.

“Existem muitas oportunidades para criar ligas novas, melhores que as tradicionais, e com uma ampla gama de aplicações. Por exemplo, as LAEs têm três vantagens sobre os sistemas atuais de ligas metálicas: exibem alta resistência à tração, inibem a formação e crescimento de precipitados a temperaturas mais altas e mostram excelente resistência à corrosão”, detalha Beccari.

Segundo ele, as ligas de alta entropia podem ser usadas em aplicações de alta temperatura, como turbinas a gás, bicos de foguetes e construção nuclear. Os pesquisadores esperam que essas ligas possam substituir materiais convencionais em condições operacionais difíceis e rigorosas, fornecendo desempenho superior em serviço. “Em resumo, essas ligas têm aplicações potenciais em diferentes campos

more than five major metallic elements, each with an atomic percentage between 5% and 35%. In the ideal alloy, all elements have the same atomic percentage.

“There are many opportunities to create new alloys, better than traditional ones, and with a wide range of applications. For example, HEAs have three advantages over current alloys: they feature high tensile strength, they inhibit the formation and growth of precipitates at higher temperatures, and they feature excellent resistance to corrosion,” Beccari explains.

He says High Entropy Alloys can be used in applications that involve high temperature, such as combustion turbines, rocket nozzles, and nuclear construction. Researchers hope that these alloys can replace conventional materials in difficult and

e espera-se que substituam os materiais tradicionais em muitos setores”, diz o pesquisador.

### APLICAÇÕES INOVADORAS

Em sua pesquisa, Beccari elaborou novas ligas multielementares equiatômicas monofásicas nos sistemas cúbico de corpo centrado (CCC) e cúbico de face centrada (CFC) para avaliar suas propriedades mecânicas e físico-químicas. “O objetivo é que esses materiais possam apresentar aplicações inovadoras e substituir os materiais já consolidados no mercado, com ênfase em ferramentas de corte e conformação”, explica.

Após elaborar e produzir as novas ligas metálicas, Beccari estudou suas propriedades mecânicas, como dureza e tenacidade, microestrutura, propriedades físico-químicas e resistência à corrosão em meio salino.

## Inovações podem substituir materiais presentes em ferramentas de corte e conformação

“Alguns novos conceitos e processamentos foram desenvolvidos para o emprego de critérios baseados em equivalentes de cromo e níquel e fusão de mistura preparada a partir de pós metálicos”, detalha.

rigorous operating conditions, enabling superior performances. “In summary, these alloys have potential applications in different fields, and are expected to replace traditional materials in many sectors,” the researcher says.

### INNOVATIVE APPLICATIONS

In his research, Beccari developed new monophasic multielement equiatomic alloys featuring two different structures: body-centered cubic and face-centered cubic systems, in order to evaluate their mechanical and physicochemical properties. “The goal is that these materials will have innovative applications, replacing materials that are already consolidated in the market, with an emphasis on cutting and metalworking tools,” he explains.

After elaborating and producing the new alloys, Beccari studied their mechanical properties,

## Innovative applications can potentially replace materials used in cutting and metalworking tools

such as hardness and toughness, as well as their microstructure, their physicochemical properties, and their resistance to corrosion in saline environments. “Based on equivalent criteria for chromium and nickel, and the fusion of a mixture

Beccari também fez um tratamento de cementação nos materiais, que consiste na introdução de carbono na superfície da liga para aumentar a dureza e melhorar suas características. “A cementação conduziu a endurecimentos contundentes dos materiais, criando uma liga metálica comparada às cerâmicas avançadas de elevada dureza, o que permite novas aplicações para esse material”, afirma. A resistência à corrosão em meios salinos também foi um sucesso, apresentando resultados muito superiores em relação a materiais consolidados, como aços inoxidáveis.

Para produzir as ligas, os elementos foram selecionados, pesados, homogeneizados, prensados, fundidos em forno a plasma e a arco elétrico. As amostras foram cortadas, embutidas e polidas, possibilitando a condução de ensaios de dureza, de onde se pôde estimar a tenacidade à fratura, análise metalográfica, fluorescência, difração de raios-X, espectroscopia por energia dispersiva em microscópio eletrônico de varredura e ensaios de corrosão eletroquímica.

Depois de todos esses testes técnicos, Beccari tinha em mãos materiais metálicos de extrema qualidade e dureza superiores a todos os materiais já conhecidos. “A pesquisa cumpriu os seus objetivos, que visam ao desenvolvimento de novas ligas para aplicações inéditas ou alternativas a materiais como o metal duro ou, até mesmo, para substituir ferramentas diamantadas para corte e conformação”, conclui.

prepared from metallic powders, some new concepts and processes have been developed,” he details.

Beccari also performed a carburization treatment on the materials, which consists of introducing carbon onto the alloy’s surface in order to increase hardness, thus improving its characteristics. “Carburization led to an impressive hardening, creating an alloy which compares to fine ceramics of extreme hardness, therefore allowing new applications for this material,” he says. The resistance to corrosion in saline environment was also a success, performing much better than consolidated materials such as stainless steels.

In order to produce the alloys, the elements were selected, weighed, homogenized, pressed, and cast in a plasma and electric arc furnace. The samples were cut, embedded, and polished, making it possible to test it for hardness, thus estimating its fracture toughness, as well as to conduct further analysis: metallographic, fluorescence, X-ray diffraction, electrochemical corrosion, and dispersive energy spectroscopy in a scanning electron microscope.

After all these technical tests, Beccari had metallic materials of extreme quality, that featured a level of hardness superior to every material already known. “The research has reached its goal, which was to develop new alloys, thus creating new or alternative applications for this kind of material, even replacing cutting and metalworking diamond tools,” he concludes.

Texto elaborado com base na dissertação “Projeto e Caracterização de Ligas Multi-elementares”, do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba (Uniso), elaborada sob orientação do professor doutor Thomaz Augusto Guisard Restivo e aprovada em 4 de abril de 2019.

**Accesse o texto completo da pesquisa em português:**

**Follow the link to access the full text of the original research (in Portuguese):**

