



*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:*



## **PESQUISADOR DESENVOLVE SENSOR**

com preço dez vezes menor que o encontrado no mercado

## **RESEARCHER DEVELOPS SENSOR**

ten times cheaper than the ones on the market

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

O físico e engenheiro Osvaldo Corrêa com o protótipo do sensor de pressão utilizado na área automotiva  
The physicist and engineer Osvaldo Corrêa, holding the prototype of the pressure sensor used in the automotive sector

Com o crescimento das populações e redução dos bens naturais no planeta, cada dia mais os países promovem políticas públicas e incentivam aperfeiçoamentos tecnológicos na indústria visando à redução de emissão de gases poluentes e à melhoria da eficiência energética.

Em 2013, foi firmado um acordo entre os países do mercado comum europeu, que impôs que, a partir de 2018, todos os veículos produzidos dentro do bloco deveriam atender às novas exigências. Dentro desse contexto, a área de controle da pressão sobre o sistema de lubrificação do motor veicular é essencial para que esses índices de eficiência melhorem.

No mercado automotivo, os sensores de pressão são amplamente aplicados em componentes vitais, como pressão do óleo lubrificante do motor, freio ABS, bomba de combustível, transmissão, *airbags*, pressão dos pneus, gás da exaustão, entrada de ar, pressão do ar condicionado e pressão do sistema de injeção direta de gasolina.

E foi de olho neste mercado que o físico Osvaldo Corrêa desenvolveu uma pesquisa de mestrado buscando justamente a melhoria no controle da pressão do sistema de lubrificação do motor. Ele fez um projeto de sensor de pressão cerâmico a filme espesso.

Outra explicação para seu interesse foi o tamanho do mercado que isso representa. “A demanda por esse tipo de sensor é atribuída ao aumento da produção veicular e médica global, mercado cativo desse tipo de tecnologia. Do total de US\$ 1,82 bilhão, US\$ 1,69 bilhão representa somente a demanda do mercado automotivo, correspondendo a 92,86% do mercado global atual”, diz. Corrêa, que trabalha na produção de peças para o setor automotivo, viu no mestrado a possibilidade de colocar a mão na massa e testar um sensor de pressão elaborado com materiais mais baratos. “A decisão (de estudar esses sensores) não foi puramente técnica, mas o contexto criou todo um ambiente favorável ao desenvolvimento deste projeto, que teve início em uma solicitação do próprio mercado”, explica Corrêa, na dissertação.

Dentre seis tipos de sensores (extensométrico, piezoresistivo, piezoeletrico, capacitivo, eletromagnético [LVDT] e óptico), ele optou pelos piezoresistivos, pois são líderes na área automotiva e seu mercado está em pleno crescimento. Com isso, ele se propôs a desenvolver em sua pesquisa um transdutor de pressão sobre substrato de alumina, utilizando pasta condutora de prata e paládio (AgPd), proporcionando uma

As population growth goes up and planetary natural resources go down, countries are increasingly promoting public policies and encouraging technological upgrades in the industry in order to reduce pollutant emissions and improve energy efficiency.

In 2013, countries within the European common market signed an agreement imposing that, from 2018 onwards, all vehicles produced in the bloc should meet new requirements. In this context, controlling the pressure of motor vehicles’ lubrication system is essential for the improvement of these efficiency indicators.

When it comes to the automotive market, pressure sensors are widely applied in vital components related to engine oil pressure, anti-lock brake systems, fuel pump, transmission, airbags, tire pressure, exhaust gas, air intake, air conditioning pressure, as well as the pressure of the gasoline injection system.

It was the interest in this market that drove the physicist Osvaldo Corrêa to go through a Master’s research which intended to improve the pressure control of engine lubrication systems. What he designed was a pressure sensor based on thick-film technology.

Another explanation for his interest was the size of this market. “The demand for this type of sensor is attributed to the increase in the global production of vehicular and medical tech, captive markets for this kind of technology. Out of the total of US\$ 1.82 billion, the demand from the automotive market corresponds to US\$ 1.69 billion, or 92.86% of the current global market,” he says. Corrêa, who works with the production of parts for the automotive sector himself, saw in his Master’s research the possibility of testing a pressure sensor made with cheaper materials. “The decision (to study these sensors) was not purely technical, but the whole context created a favorable environment for the development of this project, which began based on a demand from the market itself,” Corrêa explains in his thesis.

Among six types of sensors (strain gauge, piezoresistive, piezoelectric, capacitive, electromagnetic [LVDT], and optical), he picked the piezoresistive, once it is the leader in the automotive field, and its market is a quite promising one. Therefore, his research proposed to develop a pressure transducer onto alumina substrate, using a conductive paste made of silver and palladium (AgPd), thus reducing



Dispositivo integra vários sistemas automotivos, como a lubrificação do motor  
The device is a part of many automotive systems, such as engine lubrication

redução de custo no produto final. “Atualmente os transdutores (sensores) de pressão piezoresistivos a filme espesso utilizam a pasta de ouro como pasta condutora, sendo que a sua substituição por uma pasta de prata paládio proporciona uma redução significativa no custo final do produto, visto que a pasta de ouro tem um custo de US\$ 86,00/grama e a pasta de prata (Ag) paládio (Pd) custa US\$ 5,00/grama, portanto, extremamente significativo para o mercado automotivo”, defendeu ele na dissertação. Em abril de 2018, dois anos depois de defendida a dissertação, o custo da pasta de prata paládio era maior, mas mesmo assim continuava mais vantajosa sua utilização em vez do ouro, segundo Corrêa.

### MÃO NA MASSA

Todo o processo de criação do projeto, confecção das telas, impressão por serigrafia, secagem, sinterização ou cura e ajuste das peças foi realizado pelo pesquisador. Para tal, ele utilizou substratos de alumina A-471 da

the cost of the final product. “Nowadays, thick-film piezoresistive pressure transducers (sensors) use gold paste as conductive paste, and by replacing it with a silver palladium paste, there is a significant reduction in the product’s final cost, since gold paste costs US\$86.00 per gram and silver palladium paste costs US\$5.00 per gram, which is extremely significant for the automotive market,” he endorses in his thesis. According to the researcher, two years after his work was presented and approved, silver palladium paste was more expensive than before, however using it was still more advantageous than using gold.

### DIY

The project’s whole creation process, including the screen production, serigraphy printing, drying, sintering, and piece-by-piece adjustment, was executed by the researcher. In order to do so, he used alumina substrate A-471 from the company Kyocera, and the following pastes: piezoresistive2041, conductive



No detalhe, o sensor, criado a partir de materiais de baixo custo  
In the detail, the sensor, created from low-cost materials

empresa Kyocera e as pastas piezoresistivas 2041, condutora 7484R e polimérica 5480 da empresa Dupont. Corrêa diz que a parte mais complicada de sua pesquisa foi a fase de produção das peças para a realização dos testes. Essa fase foi feita na empresa TSA – Tecnologia em Sistemas Automotivos Ltda., fabricante de sensores e transdutores para o mercado automotivo, localizada na cidade de Itu. “Na empresa, não temos um laboratório de protótipos. Nós temos um processo produtivo. E tivemos que fazer no sábado, à noite.” Corrêa diz que o processo produtivo da empresa onde desenvolveu a pesquisa teve de ser interrompido para o desenvolvimento dos protótipos e isso gerou dificuldades, pois uma empresa desse setor trabalha com a produção em escala ininterrupta. “Foi feita uma amostra e felizmente deu certo, mas foi bastante difícil. Lembro que estava tudo pronto, o projeto, o fotolito, as telas, mas não dava certo porque eu não conseguia encaixar no processo de produção (da empresa).”

O físico e engenheiro lembra que, para realizar esses testes dentro de uma empresa da área, foi necessário parar a produção em escala, colocar os protótipos nas máquinas, ajustar o *setup* das máquinas e, então, fazer a impressão da via condutora com a pasta de prata paládio. Feito isso, os substratos foram levados a um secador de esteira, onde ficam à temperatura de 150 °C, e depois inseridos no forno de sinterização, onde passam por temperaturas de até 850 °C. Depois, os protótipos receberam a impressão da via resistiva (dos piezoresistores) de óxido de rutênio, passando posteriormente pelo mesmo processo de secagem. Por fim, foi feito o processo de impressão de uma pasta polimérica com a função de proteger os protótipos contra umidade e atmosferas agressivas ao produto.

Dentre os vários testes realizados, os protótipos foram colocados em estufa e submetidos a temperaturas que variaram de 26,5 °C a 150 °C, atendendo padrões exigidos pela indústria, pois um equipamento deste deve funcionar nesta variação de temperatura. Também foram feitos testes de durabilidade. Os testes realizados por Corrêa foram de 100 mil, 200 mil, 500 mil, 1 milhão, 5 milhões e 10 milhões de ciclos.

As peças produzidas foram submetidas a testes juntamente com um transdutor obtido no mercado,

7484R, and polymer 5480, from the company Dupont. Corrêa says that the most challenging part of his research was the phase of producing the pieces for the tests. This phase took place at the company TSA – Tecnologia em Sistemas Automotivos Ltda., a manufacturer of sensors and transducers for the automotive market, located in the city of Itu, state of São Paulo. “We do not have a prototype laboratory within the company. We do have a production process going on, and we had to do it on Saturdays at night.” Corrêa tells that the production process of the company where he conducted the research had to be interrupted while prototypes were being developed, what generated difficulties, once companies in that sector operate with continuous production. “A sample was made, and fortunately it worked, but it was quite difficult. I remember everything was ready, the project, the photolithography, the screens, but it just wouldn't work because I could not fit the prototyping into the company's production process.”

The physicist and engineer recalls that, in order to perform these tests in company, it was necessary to stop the continuous production, to position the prototypes in the machines, to adjust the setup, and then to print the conductive path using the silver palladium paste. That being done, the substrates were taken to a conveyor dryer, where they stayed at a temperature of 150°C (302°F), before being inserted in a sintering furnace, where they were subject to temperatures of up to 850°C (1562°F). After that, the prototypes' piezoresistors had their ruthenium oxide resistive paths printed, and went through the same drying process. Finally, a polymer paste was also printed in order to protect prototypes against moisture and adverse atmospheres.

Among several tests, prototypes were placed in a hothouse and subject to temperatures ranging from 26.5°C to 150°C (around 80°F to 302°F), thus meeting the standards required by the industry, as this kind of equipment should work in this temperature range. Durability tests were also performed. Tests carried out by Corrêa comprehended 100 thousand, 200 thousand, 500 thousand, 1 million, 5 million, and 10 million cycles.

The produced pieces were tested side by side with a transducer obtained in the market, marked with the color blue as a reference sensor, thus providing a parameter

e que na dissertação tinha a cor azul e era chamado de sensor de referência, com o propósito de ter um parâmetro na verificação da reação de um e de outro a um mesmo teste. “A presença do transdutor de referência em azul tem como objetivo a comparação dos resultados com um transdutor já reconhecido no mercado, visto que foram submetidos às mesmas condições de teste de pressão (0 a 1MPa), temperatura (20 a 150 °C) e fadiga (10 milhões de ciclos contínuos de 0 a 1MPa).”

Finalizados os testes, Corrêa chegou à conclusão que a utilização da pasta de prata paládio “demonstrou ser uma boa alternativa à pasta de ouro na produção de transdutores de pressão, visto que, além de apresentar as mesmas características, tais como fácil manipulação e a mesma resolução que a pasta de ouro, a prata paládio tem um custo dez vezes menor do que o ouro.” Na dissertação, o pesquisador escreve que a pasta de prata paládio, mesmo após ser submetida a um intenso teste de fadiga, “não apresentou nenhum indício de fadiga, mostrando-se apta para atender à aplicação em transdutores de pressão industrial.” Finalizando a dissertação, Corrêa sugere outros testes nas peças, para atender às demandas do setor automotivo. Diz que “para aplicação no mercado automotivo, embora tenha obtido um resultado promissor no teste de resposta a variação de temperatura de até 150 °C, ainda deverá ser realizado o teste de durabilidade, para avaliação da resistência à fadiga sobre condições de temperatura extrema de 150 °C, necessário para aplicações automotivas.”

to make it possible to check how both reacted to the same test. “The blue reference transducer is there to make it possible to compare the results with the ones of another transducer already recognized in the market. They were subject to the same conditions of pressure (0 to 1MPa), temperature (20 to 150°C, or 68 to 302°F), and fatigue (10 million continuous cycles of 0 to 1MPa).”

When tests came to an end, Corrêa concluded that the use of the silver palladium paste “turned out to be a good alternative to the gold paste in the production of pressure transducers. Besides presenting the same characteristics, such as being as easy to manipulate as the gold paste, and presenting the same resolution, silver palladium is ten times cheaper than gold.” In the thesis, the researcher states that the silver palladium paste “did not present any sign of fatigue, even after being subject to an intense fatigue test, thus proving itself to be suitable for the application in industrial pressure transducers.” After all, Corrêa suggests other tests in order to meet the automotive sector’s demands. He says that “when it comes to the automotive market, even though there was a promising result in the test of temperature variation up to 150°C (302°F), the test of durability is still needed to evaluate the fatigue resistance in extreme conditions of 150°C (302°F), which is necessary for automotive applications.”

Com base na dissertação “Projeto de sensor de pressão cerâmico a filme espesso”, do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba (Uniso), com orientação do professor doutor Norberto Aranha e aprovada em 21 de junho de 2016.

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

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



A espécie de insetos *Lestes forficula* também pode ser encontrada em meio às plantas da Cidade Universitária  
*Lestes forficula* dragonflies can also be found among the plants of Uniso's main campus