

OSWALDO SALA: CIENTISTA, EDUCADOR E EXEMPLO

Dalva L. A. de Faria^{a,b,*},^{1D}, Joel C. Rubim^c, Marcia L. A. Temperini^a,^{1D}, Mauro C. C. Ribeiro^a,^{1D}, Paola Corio^a, Paulo S. Santos^a, Rômulo A. Ando^a,^{1D} e Yoshio Kawano^a

^aDepartamento de Química Fundamental, Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes 748, Cidade Universitária, 05508-000 São Paulo – SP, Brasil

^bMuseu de Arqueologia e Etnologia, Programa de Pós-Graduação Interunidades em Museologia (PPGMus-USP), Universidade de São Paulo, 05508-070 São Paulo – SP, Brasil

^cInstituto de Química, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília – DF, Brasil

Recebido: 19/01/2025; aceito: 10/04/2025; publicado online: 13/05/2025

OSWALDO SALA: SCIENTIST, EDUCATOR AND EXAMPLE. Oswaldo Sala dedicated nearly six decades to the development of vibrational spectroscopy in Brazil and Latin America. He was a member of Hans Stammreich's group when innovative approaches to Raman spectroscopy instrumentation allowed the investigation of intensely colored and photo-sensitive compounds, consolidating the international reputation of the Laboratory of Molecular Spectroscopy in the 1950's and 1960's. Stammreich's death in 1969 coincided with a period of several new technologies being introduced in Raman spectroscopy and the laboratory, then led by Oswaldo Sala, received the first laser-Raman spectrometer in Latin America. With this equipment, the vibronic nature of inelastic light scattering could be explored in studies on the resonance Raman effect and, a few years later, chemical species adsorbed on roughed metal electrodes were investigated using the recently discovered surface enhanced Raman spectroscopy (SERS). Infrared absorption spectroscopy of molecules trapped in a solid matrix of inert gas at cryogenic temperatures were also introduced by O. Sala, so was high resolution spectroscopy of gases. Here, a detailed description of his career as scientist and educator is given.

Keywords: Oswaldo Sala; spectroscopy; Raman; infrared; IQUSP.

INTRODUÇÃO

É sempre importante, e cada vez mais necessário, que aqueles que marcaram de modo indelével a Ciência brasileira com sua atuação na pesquisa e na docência sejam reverenciados, para que seus exemplos possam estimular gerações futuras em termos profissionais e éticos. Esse é certamente o caso de Oswaldo Sala.

Oswaldo Sala foi protagonista na introdução e desenvolvimento da espectroscopia Raman no Brasil e este texto foi redigido com o objetivo de reportar sua trajetória acadêmica, iniciada em 1944 com o ingresso na carreira de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, prosseguiu pelo Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da USP, criado em 1970 com a implantação da reforma universitária, e estendeu-se por duas décadas após sua aposentadoria compulsória aos 70 anos, uma vez que continuou sua rotina de trabalho no IQUSP até ficar impossibilitado de fazê-lo por motivos de saúde.

Sua carreira profissional na Universidade de São Paulo teve início em 1949, quando foi contratado pelo então Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) para trabalhar em um projeto de investigação de transmissão de ondas curtas de rádio na ionosfera, um tema de bastante interesse para a aeronáutica à época. Seus planos eram, entretanto, dedicar-se à astrofísica, o que demandava um sólido conhecimento de espectroscopia. Teve então o consentimento de sua chefia no IAG para realizar um estágio no laboratório do Prof. Hans Stammreich no Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP (FFCL-USP) o qual, ao perceber seu interesse e desenvoltura, aliados à habilidade manual e conhecimento, o convidou para ser seu assistente; Oswaldo Sala tornou-se então, a partir de 1950, Professor Assistente do Departamento de Física.

Foram, portanto, mais de 60 anos dedicados à pesquisa e à docência, aí computados o período em que continuou trabalhando no laboratório mesmo após a aposentadoria compulsória em 1996.

Este texto contém informações compiladas por membros atuais, bem como por antigos membros do Laboratório de Espectroscopia Molecular (LEM), colaboradores, ex-alunos, amigos, orientados e do próprio Prof. Sala, que deixou vários registros históricos e pessoais sobre o LEM, além de alguns depoimentos em vídeo. Sua trajetória e a da introdução da espectroscopia Raman no Brasil se confundem, fato que se torna evidente quando as contribuições que deu à área são detalhadas.

Apesar de todo esforço em retratar sua passagem pela Universidade e o legado deixado tanto aos que tiveram o prazer de desfrutar de sua convivência quanto aos que se beneficiaram de seus conhecimentos, compartilhados em aulas, artigos e livros, os autores estão cientes de não terem conseguido capturar toda a grandeza de sua personalidade.

TRAJETÓRIA BIOGRÁFICA (29/06/1926 – 07/12/2021)

Nascido em Bauru em junho de 1926, Oswaldo Sala era filho de pai brasileiro, alfaiate, e mãe italiana, desenhista. Era também irmão de Oscar Sala, nascido na Itália (Milão) em 1922 e que viria a ter excepcional relevância no desenvolvimento da física nuclear no Brasil.¹ Em sua infância e juventude teve bastante contato com a música clássica pois seu pai tocava violoncelo e fazia parte de um grupo musical que ensaiava suas apresentações semanalmente na própria residência. Tendo ingressado no curso de Física da FFCL-USP em 1944, mudou-se para São Paulo e o gosto pela música era nutrido por idas frequentes a concertos no Teatro Municipal. Sua esposa, dona Denize (Carmen Denize Sala), era professora de piano e também apreciadora de música clássica. Casaram-se em 1949 e tiveram três filhos, vários netos e bisnetos. Dona Denize foi uma incentivadora

*e-mail: dlafaria@iq.usp.br

Editor Associado responsável pelo artigo: Nyuara A. S. Mesquita

constante da carreira do esposo; isso certamente tornou possível sua intensa dedicação às atividades na Universidade que, não raro, avançavam pela madrugada ou atravessavam a noite, inclusive nos finais de semana. A tristeza pelos falecimentos de sua esposa (2004) e da bisneta (2011), com a qual convivia diariamente, fez com que ele, já aposentado, voltasse a se dedicar ao piano (Figura 1), oferecendo inclusive pequenos recitais às pessoas no seu círculo mais íntimo de relacionamento;² também nesse período escreveu um livro de memórias em homenagem à bisneta falecida.³



Figura 1. Oswaldo Sala: gosto pela música e os pequenos recitais oferecidos em sua residência. Fonte: Laboratório de Espectroscopia Molecular

Concluiu licenciatura e bacharelado em Física pela FFCL-USP, em 1948; em 1949 foi contratado como Professor Assistente pelo Instituto Astronômico e Geofísico (IAG), hoje Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. No ano seguinte, após um estágio de curta duração no Departamento de Física da FFCL-USP, foi indicado para contratação pelo Prof. Hans Stammreich, com quem iniciou o doutoramento no mesmo ano (Figura 2). Sua tese “Espectros Raman, Análise Vibracional e Constantes de Força de alguns Compostos de Cromo Hexavalente” foi defendida em 1961.⁴



Figura 2. Foto feita no casarão da Av. Brigadeiro Luiz Antônio 784, que até a metade dos anos 1960 abrigava o Laboratório de Espectroscopia Molecular. Da esquerda para a direita: Roberto Forneris, Antônio Geraldo Ayrosa, Hans Stammreich, -, -, Oswaldo Sala, -, Yara Tavares, Dona Maria, Paweł Krumholz. Fonte: Laboratório de Espectroscopia Molecular

Começou a trabalhar em Regime de Dedicação Integral à Docência e à Pesquisa (RDIDP) em 1959; antes disso, entre 1955 e 1958 foi Professor contratado pela Faculdade de Filosofia São Bento da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, o que foi possível

porque seu regime de trabalho na USP nesse período ainda não era de dedicação exclusiva. Fez estágio de pós-doutoramento no *Mellon Institute* (Pittsburgh, USA), com a supervisão do Prof. Foil A. Miller, em 1962/1963. Tornou-se Professor Regente do Departamento de Física da FFCL-USP em 1968, assim permanecendo até 1970 quando a Reforma Universitária foi implantada e promoveu a reestruturação das carreiras, ocasião em que passou a ser Professor Assistente Doutor. Na Reforma, optou por filiar-se ao recém-criado Instituto de Química (IQUSP) permanecendo como Professor Assistente Doutor até 1986 quando se tornou Prof. Livre-Docente, título obtido pelo Departamento de Química Fundamental do IQUSP com a tese intitulada “Intensificação do Espalhamento Raman por Ressonância e por Superfície: Princípios e Aplicações”.⁵ No ano seguinte (1987), na mesma Instituição, ascendeu à posição de Professor Adjunto, título conferido pelo Departamento de Química Fundamental do IQUSP em concurso realizado em 17 de agosto; em 1988 tornou-se Professor Titular por aprovação em concurso público. Foi Vice-Chefe do Departamento de Química Fundamental no período de 1990 a 1993 e Vice-Diretor do IQUSP no período de 1994 a 1996. Foi membro da Sociedade Brasileira de Química e membro titular da Academia de Ciências do Estado de São Paulo, bem como da Academia Brasileira de Ciências. Recebeu do IQUSP o Prêmio Rheinboldt-Hauptmann em 1992 e, do Governo Federal, recebeu em 1998 o título de Comendador da Ordem Nacional do Mérito Científico. Foi também homenageado com a Medalha “Simão Mathias” (2000), honraria concedida pela Sociedade Brasileira de Química àqueles que se destacam por suas atividades acadêmicas. Foi homenageado na ocasião de seu 70º aniversário com um *workshop* (*Modern Aspects of Vibrational Spectroscopy*, IQUSP, 1996) que reuniu especialistas em espectroscopia Raman reconhecidos internacionalmente e originou um número especial da revista *Journal of the Brazilian Chemical Society* (JBCS);⁶ 10 anos depois, a homenagem aconteceu com o *Curso de Espectroscopia Vibracional Prof. Oswaldo Sala* (Vibros I) que segue sendo oferecido pelo LEM. Recebeu ainda homenagem dos alunos de graduação em química em 2015 (Ano Internacional da Luz), durante a 32ª Semana de Química do IQUSP (Figura 3). Postumamente, em 2022, o Comitê Científico do Encontro Brasileiro de Espectroscopia Raman (EnBraER) criou o “Prêmio Oswaldo Sala” concedido como homenagem a pesquisadores que se destacaram por suas contribuições à espectroscopia Raman e à ciência brasileira.



Figura 3. Homenagem durante a 32ª Semana de Química do IQUSP (2015). Fonte: Paola Corio

O LABORATÓRIO DE ESPECTROSCOPIA MOLECULAR

O Laboratório de Espectroscopia Molecular foi criado por Hans Stammreich no final da década de 1940 e foi sediado durante

algumas décadas em um casarão da Av. Brigadeiro Luiz Antônio, 784 (Figura 4).⁷ Esse casarão é descrito por Oscar Sala, irmão mais velho de Oswaldo, em depoimento dado em 1977: “Lembro perfeitamente: o Departamento de Física estava situado numa residência da Av. Brigadeiro Luís Antônio, 784. Era uma residência de dois andares e um porão. Eu trabalhava no porão, na parte de raios cósmicos e no resto da residência estava em desenvolvimento a parte para a defesa Nacional. Algumas salas eram, inclusive, inacessíveis”.⁸



Figura 4. Fotografia do casarão da Av. Brigadeiro Luiz Antônio, alugado por vários anos pela USP. O Laboratório de Espectroscopia Molecular ficou sediado nesse local até 1966, quando se transferiu para o IQUSP na Cidade Universitária, campus Butantã. Imagem reproduzida, com autorização, da referência 7

Segundo Oswaldo Sala, o LEM passou a ocupar todo o prédio quando grande parte do Departamento de Física transferiu-se para outros locais como o campus em construção no Butantã e o prédio da Rua Maria Antônia; com isso o LEM “herdou” uma oficina mecânica equipada com várias máquinas. O Laboratório contava nessa época com o auxílio de um técnico mecânico (Mario Capelo), o que foi importante porque o espectrógrafo Lane-Wells (que usava prismas), adquirido por Stammreich em 1947, tinha dispersão desfavorável na região do vermelho e, com a oficina, foi possível construir espectrógrafos com maior luminosidade, resolução e flexibilidade de montagem.⁹

Outra pessoa que nessa época foi imprescindível no apoio técnico em eletrônica ao LEM foi Antônio Geraldo Marques da Silva Ayrosa (na Figura 5, junto ao Prof. Sala), filho do engenheiro, etnologista, filólogo e professor Plínio Marques da Silva Ayrosa;¹⁰ o Prof. Plínio Ayrosa deu grande contribuição ao que viria a ser, anos mais tarde, o Museu de Arqueologia e Etnologia da USP.¹¹ Geraldo Ayrosa (falecido em 2018)¹² está também na fotografia da Figura 2, junto com Stammreich, funcionários e alunos de pós-graduação, além do Prof. Pawel Krumholz¹³ com quem Stammreich mantinha intensa colaboração. Krumholz faleceu repentinamente quatro anos depois de Stammreich, mas contribuiu decisivamente para a consolidação de linha de pesquisa do LEM voltada a estudos sobre compostos de coordenação usando espectroscopia Raman.

Quando iniciou seu trabalho com Hans Stammreich, Sala encontrou uma infraestrutura estabelecida, porque o Departamento de Física da FFCL-USP já tinha, em 1950, dois espectrógrafos Raman sendo um da Zeiss (esquematizado na Figura 6a) e outro da Lane-Wells. Um orçamento pedido pelo Departamento de Física e datado de 6/8/1937 (Proposta No. 1173) referente à aquisição de



Figura 5. Geraldo Ayrosa (à esquerda) e Oswaldo Sala no corredor do Bloco 4T do IQUSP (2015). Fonte: Rômulo Ando

um espectrógrafo Zeiss com arranjo de Försterling^{14,15} (Figura 6b) e lâmpada de Hg foi encontrado em arquivos do atual Instituto de Física da USP;¹⁶ esse espectrógrafo muito provavelmente foi efetivamente comprado porque há uma nota de entrega datada de 6/12/1938 com assinatura de Abrahão de Moraes atestando o recebimento de um “tubo de quartzo (para lâmpada seg. Raman).”¹⁷ Esse equipamento estava, portanto, disponível na FFCL-USP 10 anos antes da contratação de Sala mas, até onde se tem conhecimento, não foi utilizado por Stammreich para espectroscopia Raman até o final da década de 1940.

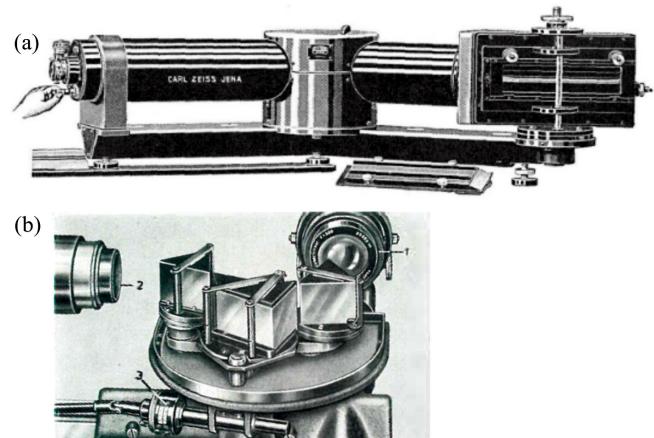


Figura 6. Espectrógrafo Zeiss: (a) modelo adquirido pelo Depto. de Física da FFCL-USP em 1938; (b) ilustração dos três prismas em arranjo de Försterling que esse espectrógrafo utilizava. Fonte: ZEISS Archive¹⁵

Não se conhece exatamente a razão pela qual, em 1947, Stammreich adquiriu um outro espectrógrafo Raman, da marca Lane-Wells (Figura 7),¹⁸ com lâmpada de mercúrio e três prismas de 10 cm de base, e que se tornou o primeiro em operação rotineira na América Latina. Segundo depoimento de punho próprio, Sala participou da instalação desse equipamento a qual, segundo ele, “foi bastante trabalhosa”.^{9,19} Esse espectrógrafo foi empregado no primeiro artigo usando a espectroscopia Raman, publicado no Brasil em 1949, nos Anais da Academia Brasileira de Ciências,²⁰ de autoria de Hans Stammreich e Berenice Gonçalves; aparentemente, o instrumento Zeiss comprado no final da década de 1930 pelo Departamento de Física não foi usado em publicações do grupo até 1953, quando Stammreich o utilizou para obter o espetro Raman de BrCl usando lâmpada de hélio,²¹ em um trabalho que tem a coautoria de Roberto Forneris.



Figura 7. Equipamento Raman comercial da Lane-Wells, adquirido em 1947 por Stammreich, o qual empregava lâmpada de mercúrio e três prismas de vidro. Fonte: reproduzida com autorização da referência 18. Copyright 2024 American Chemical Society

Como estava no laboratório desde 1949, Sala teve participação intensa já nos primórdios do desenvolvimento da lâmpada de He – cuja importância será discutida a seguir – devido às suas habilidades manuais e engenhosidade para contornar problemas práticos.

Seu primeiro artigo científico, com Stammreich e Forneris (“Sobre uma Anormalidade na Razão entre as Intensidades das Frequências Stokes e Anti-Stokes no Espectro Raman do CCl_4 Excitado por Fótons de Baixa Energia”),²² foi publicado em 1950 já utilizando a lâmpada de He (587,6 nm). Esse artigo reporta dados produzidos pelo espectrógrafo Lane-Wells, mas a dispersão dos prismas era desfavorável na região espectral utilizada, tornando necessário o uso de rede de difração, o que originou um artigo pioneiro no qual o espectro Raman de dicloreto de enxofre (SCl_2) foi obtido em um espectrógrafo dotado de rede de difração de transmissão com ângulo de brilho (*blaze*) na região de excitação dos espectros, e poder de resolução espectral comparável ao do espectrógrafo Lane-Wells com lâmpada de Hg.²³ Esse espectrógrafo com rede de difração com ângulo de brilho passou então a ser instrumento de uso rotineiro no LEM e apesar de Sala não estar entre os autores do artigo sobre SCl_2 , seu papel no desenvolvimento das lâmpadas utilizadas e dos próprios espectrógrafos é fato reconhecido.^{6,24}

Especificamente no caso das lâmpadas, apesar de já existirem naquela época as que emitiam em comprimentos de onda longos com os quais haviam sido publicados artigos no final da década de 1930 (Krishnamurti,²⁵ lâmpada de Cd, linha em 643,9 nm e Thompson,²⁶ lâmpada de He, linha em 587,6 nm), seu uso era limitado pelo baixo tempo de vida e pela pouca estabilidade que apresentavam.

A utilidade de comprimentos de onda mais longos na obtenção dos espectros Raman devia-se ao fato de que as linhas em 435,8 e 546,1 nm das lâmpadas de mercúrio, então usadas como fonte de excitação, não podiam ser empregadas em estudos de substâncias fotossensíveis, fluorescentes ou altamente coloridas, por conta da decomposição fotoquímica ou térmica, ou então devido à luminescência que esses comprimentos de onda produziam. O fator desfavorável que a excitação no vermelho ou no infravermelho próximo apresenta, causado pela dependência do espalhamento de luz com a quarta potência da frequência da radiação excitante, é compensado por essas radiações minimizarem os efeitos indesejáveis causados por radiações mais energéticas citados acima.

O desenvolvimento da lâmpada de He apresentava desafios relacionados à obtenção do gás puro e também à estabilidade da lâmpada. No primeiro caso, o gás comercial continha também neônio como contaminante em concentração na faixa de 100 ppm a 0,1%²⁷ e com isso suas linhas na região do vermelho e infravermelho próximo interferiam na obtenção dos espectros, por se sobrepor ao sinal proveniente das amostras. A solução, bastante criativa, foi extraír o gás de areia monazítica, abundante no Brasil.²⁸ Essa areia contém quantidades significativas de tório o qual apresenta decaimento α , fazendo com que a areia se torne rica em hélio; o gás pode ser extraído por aquecimento e purificado com procedimentos simples.²⁷

Como já foi dito, as linhas no vermelho e infravermelho próximo produzem espalhamento de menor intensidade devido ao fator de v^4 desfavorável e, devido a isso, exposições mais longas eram necessárias o que tornava a estabilidade das lâmpadas essencial à obtenção de espectros. Essa questão foi resolvida acoplando à lâmpada um reservatório de gás, o que permitia seu uso continuado com manutenção de desempenho por algumas centenas de horas.¹⁹

Nesse período de sua carreira, Sala publicou 11 artigos juntamente com Stammreich^{22,29-38} e outros membros do LEM à época, como Roberto Forneris,^{22,31} Darwin Bassi^{32,33} e Yara Tavares,³⁴ bem como com colaboradores (Pawel Krumholz^{35,36} e H. Siebert³⁷) e visitantes (Kiyoyasu Kawai).³⁸ Vários desses trabalhos feitos sob a supervisão de H. Stammreich e com a colaboração de outros membros do LEM tiveram grande impacto e ainda hoje são citados na literatura.

Durante seu pós-doutorado no Mellon Institute em Pittsburgh entre 1962 e 1963, Sala teve a oportunidade de trabalhar com o Prof. Foil Miller no uso da espectroscopia de absorção no infravermelho (*infrared, IR*), experiência essa que lhe foi muito útil alguns anos depois quando recebeu em seu laboratório um espectrofotômetro de absorção no IR da Perkin-Elmer,³⁹ que era um instrumento dispersivo, de duplo feixe e com óptica de KRS-5, o que permitia registrar espectros no infravermelho a partir de 180 cm^{-1} . Desse pós-doutorado em Pittsburgh resultaram artigos sobre espectroscopia vibracional de nitrilas e tetracianoetileno,⁴⁰ bem como de cianetos de fósforo e arsênio.⁴¹

TRANSFERÊNCIA DO LEM AO IQUSP

A construção da Cidade Universitária no bairro do Butantã, a demanda judicial dos herdeiros do casarão da Av. Brigadeiro Luiz Antônio (que acelerou a transferência do laboratório para o campus do Butantã em 1966) e a morte inesperada de Hans Stammreich em 1969, antes portanto da vinculação oficial de seu grupo de pesquisa ao Instituto de Química (criado com a reforma universitária), trouxeram uma série de desafios a Oswaldo Sala, agora responsável pelo LEM e pela manutenção de sua infraestrutura. A fim de fazer frente às novas demandas de pesquisa, adquiriu em 1970 o primeiro instrumento que não mais operava com lâmpadas de descarga mas sim com lasers (Jarrell-Ash modelo 25-300, com duplo monocromador Czerny-Turner) e, do ponto de vista da técnica, teve papel pioneiro em investigações sobre o efeito Raman ressonante e, posteriormente, sobre o efeito SERS (*surface enhanced Raman scattering*), além de ter introduzido o uso de matrizes criogênicas de gases inertes em espectroscopia vibracional no Brasil.

O espectrômetro Jarrell-Ash (Figura 8) entrou em operação no início de 1971 e, segundo Sala, “o projeto envolvia um valor muito alto para a época, US\$50.000,00 (seriam cerca de US\$300.000 ou \$400.000 atualmente)”.⁹ O primeiro artigo publicado empregando o recém-instalado espectrômetro (1971) versava sobre a caracterização de alguns tioacetais por espectroscopia vibracional, tema de pesquisa de Paulo R. Olivato e de sua então orientadora de doutorado Blanka Wladislaw (“The Infrared and Raman Spectra of some

Thioacetals”).⁴² Quando, nesse mesmo ano e com apenas alguns meses de diferença, o Departamento de Química Fundamental recebeu um espectrofotômetro de absorção no infravermelho Perkin-Elmer Modelo 180 (Figura 9), esses dois pesquisadores tiveram importante papel na decisão do Departamento de deixar o instrumento sediado no LEM, aos cuidados de Sala e sua equipe. O artigo sobre tioacetais citado acima⁴² também foi o primeiro publicado empregando o “180”, como era conhecido o espectrofotômetro Perkin-Elmer, que permitia a obtenção de espectros com alta resolução espectral (com passos do monocromador de 0,1 ou 0,01 cm^{-1}) e que operava com quatro redes de difração para a faixa espectral de 180 a 4000 cm^{-1} .⁴³ O equipamento era purgado para remover CO_2 e vapor de H_2O do compartimento de amostra e, para atingir o limite inferior de 180 cm^{-1} , possuía óptica de KRS-5, uma mistura de iodeto e brometo de tálio.⁴⁴

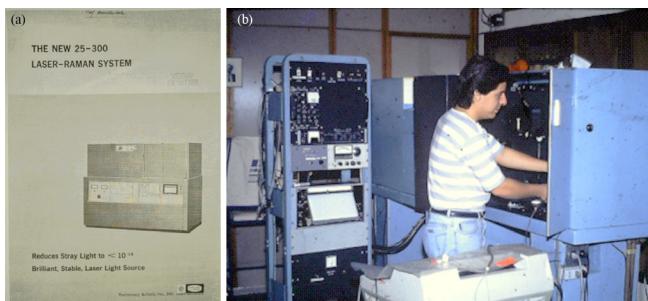


Figura 8. Espectrômetro laser Raman Jarrell-Ash 25-300: (a) material de divulgação do fabricante (fonte: foto do catálogo de 1969 pertencente aos arquivos do LEM); (b) espectrômetro em operação no LEM (fonte: Joel Rubim, 1984)

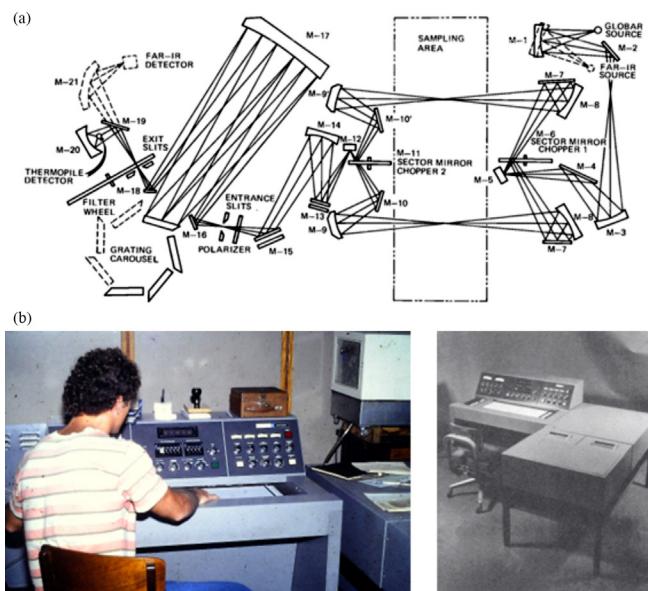


Figura 9. Esquema óptico do espectrofotômetro de absorção no infravermelho Perkin-Elmer modelo 180: (a) esquema óptico (fonte: fotografia do catálogo do instrumento de 1969 pertencente aos arquivos do LEM); (b) à esquerda: o espectrofotômetro em operação no LEM (fonte: Joel Rubim, 1984); à direita: fotografia de seu aspecto como mostra o catálogo do fabricante, de 1969

Esse equipamento foi bastante importante por permitir a obtenção de espectros no IR, com informações complementares às dos espectros Raman e também por possibilitar que novas linhas de pesquisa fossem criadas, como é o caso do estudo de moléculas aprisionadas em matrizes criogênicas de gases inertes. Acetamidas e seus derivados deuterados foram estudadas em matrizes de argônio (10 K). A alta resolução espectral foi fundamental para esse tipo de

investigação porque, após a estabilização da temperatura e a formação da matriz, era feita primeiramente uma varredura exploratória do espectro todo e em seguida cada banda de interesse era registrada com alta resolução ($0,6 \text{ cm}^{-1}$) e baixa velocidade de varredura, em um experimento que se estendia por horas, geralmente até a manhã do dia seguinte. No caso das acetamidas, tema da tese de doutorado de Ricardo Knudsen,⁴⁵ os resultados obtidos foram publicados e estão disponíveis na literatura.⁴⁶ Matrizes criogênicas também foram empregadas em estudos sobre o comportamento vibracional e fotoquímico de acetaldeído,⁴⁷ conduzidos por Carlos Della Védova, pesquisador da Universidade de La Plata (Argentina).

A colaboração com outros pesquisadores Argentinos, como Alicia Jubert,⁴⁸ Pedro J. Aymonino,⁴⁹ Jorge Güida,⁵⁰ Gabriela Lacconi⁵¹ e Alejandro J. Arvia⁵² foi intensa nesse período e os trabalhos citados são apenas alguns exemplos mais significativos das publicações que resultaram dessas colaborações.

Especificamente no caso da espectroscopia Raman, quando a fonte de excitação dos espectros deixou de ser lâmpadas de descarga, uma nova etapa foi iniciada no LEM, na qual Sala sempre destacou a inestimável colaboração de Antônio Geraldo Ayrosa (o “Seu Ayrosa”, como ficou conhecido no IQUSP), de seus alunos de pós-graduação (Darwin Bassi, Celso Ulysses Davanzo, Francisco Moral, Marcia L. de Vito Arruda (depois Marcia L. Arruda Temperini), Paulo Sergio Santos, Wanda de Oliveira, Yoshiyuki Hase e Yoshio Kawano) e do Prof. Kiyoyasu Kawai, visitante da Faculdade de Ciência da Universidade de Toyama (Japão) que o auxiliou na organização do laboratório nos primeiros tempos sem o Prof. Stammreich.

Foi por sugestão do Prof. Kawai que foram iniciados os estudos sobre o íon tetratiofosfato (PS_4^{3-}) com a substituição progressiva dos átomos de enxofre por átomos de oxigênio; esse projeto de pesquisa começou a ser desenvolvido por Marcia L. Arruda em sua iniciação científica e foi concluído em seu doutoramento.⁵³ As mudanças espectrais observadas quando diferentes linhas de excitação eram usadas foram discutidas em termos do efeito Raman ressonante, ainda pouco conhecido na ocasião. Curiosamente, um dos primeiros espectros obtidos com lâmpada de He, no início da década de 1950, foi o do vapor de bromo,⁵⁴ de intensa coloração alaranjada ($\lambda_{\text{máx}} = 420 \text{ nm}$); a excitação usada (587,6 nm), em condição de ressonância, permitiu observar os sobretons do modo fundamental, característico do efeito, mas o fenômeno não foi investigado naquela ocasião. Dos trabalhos desenvolvidos sobre o efeito Raman ressonante nesse período, foi possível mostrar que as intensidades das bandas Raman dependiam de sua posição dentro da banda de absorção eletrônica e que a intensidade dos sobretons somente diminui monotonicamente com o número quântico vibracional quando a frequência da radiação espalhada dos sobretons é menor do que a do máximo do perfil de excitação,⁵⁵ como mostra a Tabela 1 abaixo. Nela, são reportados os valores de intensidade relativas das bandas observadas no espectro Raman de Cu_3PS_4 obtido em nitrogênio líquido e medidas em relação à banda em 153 cm^{-1} do SrCO_3 para diversos comprimentos de onda de excitação; o máximo do perfil de excitação desse composto situa-se em 488 nm.

O comportamento dos fatores de intensificação dos sobretons causou surpresa ao Prof. H. J. Bernstein, pesquisador do *National Research Council* do Canadá⁵⁶ e visitante no IQUSP em 1977. Bernstein desenvolveu juntamente com Wolfgang Kiefer uma cela rotatória para ser empregada no estudo de líquidos que apresentavam o efeito Raman ressonante;⁵⁷ com ela evitava-se a reabsorção da radiação espalhada, tornando-se uma ferramenta muito útil, inclusive no estudo de substâncias termicamente sensíveis. Seu interesse nos resultados sobre o PS_4^{3-} o levou a sugerir o estudo de um composto colorido solúvel em água ($(\text{NH}_4)_3\text{MoS}_4$), empregando a cela rotatória.⁵⁸ Os resultados

Tabela 1. Intensidades das bandas observadas no espectro Raman de Cu_3PS_4 obtido em nitrogênio líquido e medidas em relação à banda em 153 cm^{-1} do SrCO_3 para diversos comprimentos de onda de excitação (em nanômetros). Os valores foram corrigidos considerando as fendas espectrais, resposta do detector, fator de v^4 e absorção da radiação. Os valores em negrito referem-se à vibração fundamental (v_1) e seus sobretons

Posição	457,9 nm	476,5 nm	488,0 nm	496,5 nm
285 cm^{-1}	414	6143	11686	7550
300 cm^{-1}	180	543	1314	1750
307 cm^{-1}	151	1329	3543	3050
320 cm^{-1}	151	914	1800	2400
$392\text{ cm}^{-1} (v_1)$	3914	49000	67629	38822
512 cm^{-1}	223	1686	1770	1164
$784\text{ cm}^{-1} (2v_1)$	1360	15930	4380	1000
$1175\text{ cm}^{-1} (3v_1)$	1640	6175	710	70
$1565\text{ cm}^{-1} (4v_1)$	1600	1680	190	15

obtidos confirmaram inequivocadamente as afirmações feitas por Sala e Temperini acerca do efeito Raman ressonante em PS_4^{3-} , que deram assim contribuição extremamente relevante à compreensão dos aspectos que regem os fatores de intensificação observados.

Sala também foi pioneiro em estudos sobre o efeito SERS no Brasil, mas isso decorreu de certa dose de casualidade, como será visto adiante. A intensificação do sinal Raman de algumas bandas de substâncias adsorvidas em superfícies metálicas rugosas foi observada pela primeira vez por Fleischmann *et al.*⁵⁹ e reconhecido como um efeito novo dois anos depois.^{60,61} A ocasião para introduzir essa linha de pesquisa no LEM surgiu no final da década de 1970 quando o laser de Ar^+ usado nos estudos de Raman ressonante deixou de funcionar.

Naquela época, a importação de um tubo novo de laser demoraria vários meses, comprometendo o andamento de projetos de pesquisa, em especial os de Raman ressonante, mas como havia também no laboratório um laser de íons de kriptônio, que produzia radiação no vermelho (647,1 nm), Sala decidiu usá-lo para investigar moléculas adsorvidas em superfície de cobre e, para isso, empregou um sistema eletroquímico, contando com a colaboração do Prof. Hélio Chagas (IQUSP), especialista em eletroquímica.

Obtiveram-se, dessa forma, espectros SERS de piridina adsorvida sobre Cu e em vários potenciais eletroquímicos⁶² na região do vermelho; naquela época a maioria dos estudos empregava as radiações no azul e verde de lasers de Ar^+ na investigação de adsorbatos em prata.⁶³ O que se sabia sobre o efeito SERS era ainda incipiente e, dessa forma, Sala e seus colaboradores (Joel C. Rubim e Marcia L. A. Temperini) puderam observar várias características importantes para a compreensão do fenômeno, como a dependência da intensidade SERS em um dado potencial com o modo normal de vibração, com o sentido da varredura (para potenciais positivos ou negativos) e com a energia da radiação excitante.⁶⁴ Nesse período, o LEM deu contribuições significativas para a compreensão dos aspectos químicos ligados ao efeito SERS.⁶⁵

No final da década de 1980, o Laboratório adquiriu um equipamento interferométrico Bomem DA3 com diversos acessórios e com ele foi possível obter espectros de absorção no IR de gases com alta resolução ($0,01\text{ cm}^{-1}$). A excelência do laboratório em espectroscopia vibracional e a disponibilidade do equipamento possibilitaram a colaboração com um pesquisador (R. Marquardt) ligado a um grupo suíço, interessado em obter os sobretons da vibração de estiramento C–H na molécula de CHI_3 , necessários para a construção da superfície de potencial dessa espécie química. Os espectros foram obtidos empregando cela de reflexões múltiplas, com caminho óptico que chegava a 5 metros;

o procedimento envolvia evacuar a cela e ajustar a intensidade dos sobretons aumentando a pressão de vapor do CHI_3 pelo aquecimento do conjunto, em temperaturas que podiam chegar a $1000\text{ }^\circ\text{C}$. O aumento de temperatura, entretanto, provocava a dilatação da barra de alumínio que suportava os espelhos, fazendo com que o suporte das janelas fosse empurrado para fora, causando o rompimento do vácuo. Para contornar esse problema Sala projetou uma nova barra de suporte, usando certamente a experiência adquirida com a construção de espectrógrafos nas décadas de 1950 e 1960. Com a eliminação do problema os espectros foram obtidos e a superfície potencial pode ser concluída e publicada em 1995.⁶⁶

A intensa atividade de pesquisa e o ambiente acadêmico ímpar proporcionado por O. Sala possibilitaram ainda colaborações com pesquisadores atuantes como William J. Orville-Thomas⁶⁷ (Salford University, Reino Unido), Herbert F. Shurvell⁶⁸ (Queen's University, Canadá) e Claudio Téllez⁶⁹ (Universidade do Chile).

O MESTRE

Desde sua contratação, Sala colaborava com a parte experimental da disciplina de Física Superior que era a cátedra do Prof. Stammreich, tarefa que começou a dividir com Roberto Forneris a partir de 1950. Desde aquela época tinha um carinho especial pelas disciplinas e buscava, segundo ele como o Prof. Stammreich fazia,⁷⁰ o entrosamento perfeito entre o conteúdo teórico e as práticas de laboratório ou demonstrações, que ilustravam os pontos fundamentais da aula. Tanto nas disciplinas de graduação quanto nas de pós-graduação, Sala manteve ao longo de toda sua vida acadêmica um peculiar sistema de avaliação oral individualizada, durante a qual tinha a oportunidade de detectar deficiências ou complementar alguma informação relevante, estimulando no aluno o desenvolvimento de raciocínio crítico e científico. Ele acreditava que as avaliações eram oportunidades adicionais de aprendizado e não apenas instrumento gerador de notas e classificações. A partir das dúvidas mais recorrentes nessas aulas e preocupado com a formação dos estudantes, escreveu e publicou artigos didáticos sobre espectroscopia atômica,⁷¹⁻⁷³ molecular⁷⁴ e espectroscopia Raman,⁷⁵ objetivando, segundo ele “tornar mais claros certos termos da Química Quântica”. Além de textos de divulgação,^{76,77} é autor de um livro de espectroscopia vibracional (“Fundamentos de Espectroscopia Raman e no Infravermelho”),⁷⁸ que é referência para os que querem se aprofundar nessas técnicas, e foi organizador e coautor de um livro sobre espectroscopia Raman (“Espectroscopia Raman. Princípios e Aplicações”).⁷⁹ Orientou 11 teses de doutorado e 13 dissertações de mestrado (Tabela 2), além de incontáveis projetos de Iniciação Científica. A grande maioria dos pós-graduandos que orientou seguiram exitosa carreira universitária, atuando em diversas áreas da Química e da Física, e os que não o fizeram também tiveram carreira de sucesso no setor privado.

CONCLUSÕES

Oswaldo Sala foi um exemplo de dedicação e competência, contribuindo decisivamente para a nucleação de diversos grupos de pesquisa no país, mas além de tudo isso, foi um exemplo como ser humano. Aqueles que tiveram o prazer de desfrutar de sua companhia sabem que se o cientista foi grande, o homem foi ainda maior, como testemunham os depoimentos e homenagens que recebeu ainda em vida e na ocasião de seu falecimento, alguns dos quais estão reproduzidos a seguir.

“O Professor Sala tem o grande mérito não somente de ter mantido a tradição do laboratório como de ter transmitido a ênfase na capacitação experimental e na análise crítica de

Tabela 2. Relação dos doutorados e mestrados orientados por Oswaldo Sala

Nome	Instituição	Ano
Doutorado		
Sadao Isotani	IFUSP	1970
Darwin Bassi	IQUSP	1972
Yoshio Kawano	IQUSP	1972
Antonio Eduardo Mauro	IQUSP	1976
Yoshiyuki Hase	IQUSP	1976
Marcia L. Arruda Temperini	IQUSP	1977
Paulo Sérgio Santos	IQUSP	1978
Joel Camargo Rubim	IQUSP	1985
José Roberto Bertolino	IQUSP	1988
Ricardo Knudsen	IQUSP	1990
Lucia Kiyomi Noda	IQUSP	1998
Mestrado		
Sadao Isotani	Dept. de Física FFCL-USP	1969
Yoshio Kawano	IQUSP	1971
Wanda de Oliveira	IQUSP	1974
Marcia L. Arruda Temperini	IQUSP	1974
Yoshiyuki Hase	IQUSP	1974
Francisco Moral	Dept. de Física e Química - ITA	1974
Paulo Sérgio Santos	IQUSP	1975
Celso Ulysses Davanzo	IQUSP	1975
Álvaro Arouche de Aquino	IQUSP	1976
Joel Camargo Rubim	IQUSP	1982
Wagner José Barreto	IQUSP	1985
Liang Yu	IQUSP	1990
Lucia Kiyomi Noda	IQUSP	1991

resultados, como na necessidade de manter um grupo coeso centrado em problemas de interesse comum" (Prof. José M. Riveros).⁷⁹

Colaborador e amigo, o Prof. Carlos Della Védova da Universidade de La Plata (Argentina) divulgou na página daquela Instituição

"Hoy nos toca despedir al querido y admirado "Mestre". El Profesor Oswaldo Sala nos ha dejado su luz perenne, su vocación por la ciencia, su gusto por la música, su virtud por la cooperación científica, su desprendimiento por lo material y su talento en pos de la justicia y de la humanidad" (Prof. Carlos Della Védova).⁸⁰

Sobre o Prof. Sala também escreveu o Prof. Richard G. Weiss

"Quando penso nos gigantes do IQ / USP, com certeza ele está entre eles. Ele não deve ser esquecido por tudo o que fez em tempos difíceis para realizar ciência de classe mundial e para treinar outros em sua disciplina. Sua falta será sentida por todos que o conheciam. Ele merece descansar bem e ser lembrado".⁸¹

Em sua tese de doutorado defendida em 1998, Norberto Sanches Gonçalves faz um agradecimento bastante significativo porque o Prof. Sala não foi seu orientador:

"Ao Prof. Dr. Oswaldo Sala, amigo, conselheiro e verdadeiro artesão da ciência. Sua maior motivação de pesquisar é a formação das pessoas à sua volta, sem querer lograr fama ou poder. Isto o torna um verdadeiro cientista e educador, distinguindo-o dos demais".⁸²

Muitos outros depoimentos poderiam ser reproduzidos aqui, mas ainda assim seriam insuficientes para descrever algumas qualidades raras de Oswaldo Sala: como pesquisador, a valorização de posturas éticas e, como homem, o respeito e carinho para com todos aqueles que conviveram com ele. Sem esses dois fatores certamente o LEM não teria se consolidado como centro de referência em espectroscopia vibracional que é hoje.

Prof. Oswaldo Sala: uma vida dedicada à ciência, um legado às gerações futuras de espectroscopistas.

AGRADECIMENTOS

A todos os membros do LEM, atuais e pretéritos, colaboradores, alunos e funcionários. Às agências de fomento, especialmente à FAPESP, CNPq e Capes, pelo apoio concedido ao longo de quase oitenta anos de existência do Laboratório de Espectroscopia Molecular. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil, processo No. 2022/11983-4.

REFERÊNCIAS

1. Motoyama, S.; Gordon, A. M. P. L.; Sala, O.; *Ciênc. Cult.* **2010**, 62, 16. [Link] acessado em Maio 2025
2. Oswaldo Sala: Recital de Piano, <https://www.youtube.com/watch?v=4YNcueJnfQI>, acessado em Maio 2025.
3. Sala, O.; *O Poder do Amor*; LF Editorial: São Paulo, 2016.
4. Sala, O.: *Espectros Raman, Análise Vibracional e Constantes de Força de alguns Compostos de Cromo Hexavalente*; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1961. [Link] acessado em Maio 2025
5. Sala, O.: *Intensificação de Espalhamento Raman por Ressonância e por Superfície: Princípios e Aplicações*; Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1986. [Link] acessado em Maio 2025
6. Rubim, J. C.; Alves, O. L.; Santos, P. S.; *J. Braz. Chem. Soc.* **1996**, 7, Editorial. [Link] acessado em Maio 2025
7. Dantes, M. A. M.; Salinas, S. R. A.; Henriques, V. B.; Seale, W.; Gurgel, I.; Chassot, W.; *Origens e Formação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo*; Tabacniks, M., org.; 1^a ed.; Instituto de Física da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2020, p. 13; IFUSP: São Paulo, 2020, p. 13. [Link] acessado em Maio 2025
8. Dantes, M. A. M.; Salinas, S. R. A.; Henriques, V. B.; Seale, W.; Gurgel, I.; Chassot, W.; *Origens e Formação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo*; Tabacniks, M., org.; 1^a ed.; Instituto de Física da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2020, p. 14; IFUSP: São Paulo, 2020, p. 14. [Link] acessado em Maio 2025
9. Sala, O.; *Memórias sobre o Laboratório de Espectroscopia Molecular*, https://lem.iq.usp.br/wp-content/uploads/2016/01/Memorias_sobre_o_Lab_de_Espec-atualizado.pdf, acessada em Maio 2025.
10. Drumond, C.; *Revista de História* **1964**, 29, 407. [Crossref]
11. Garcia, D. C.; de Souza, G. N.; Afonso, M. C.; *Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)* **2014**, 11, 289. [Crossref]
12. Texto publicado no número 157 da revista Alquimista: Santos, P. S.; Temperini, M. L. A.; *Alquimista (Publicação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo)*, No. 157, dezembro de 2018.
13. Vichi, E. J. S.; *Quim. Nova* **1983**, 6, 152. [Link] acessado em Janeiro 2025.

14. Carl Zeiss Jena Filial de São Paulo, Proposta No. 1173, de 06/08/1937. Acervo Histórico do Instituto de Física da USP, IF-DF-IV-02-00-0000-00222-0, p. 14. [Link] acessado em Maio 2025.
15. The ZEISS Archives, <https://www.zeiss.com/corporate/en/about-zeiss/past/history/archives.html>, acessado em Maio 2025.
16. Carl Zeiss Jena Filial de São Paulo, Proposta No. 1174, de 06/08/1937. Acervo Histórico do Instituto de Física da USP, IF-DF-IV-02-00-0000-00222-0, p. 15. [Link] acessado em Maio 2025.
17. Carl Zeiss São Paulo, Nota de Entrega No. 5737, de 06/12/1938. Acervo Histórico do Instituto de Física da USP, IF-DF-IV-02-00-0000-00222-0, p. 20. [Link] acessado em Maio 2025.
18. Müller, R. H.; *Anal. Chem.* **1948**, *20*, 24A. [Crossref]
19. de Faria, D. L. A.; *Quim. Nova* **2019**, *42*, 993. [Crossref]
20. Stammreich, H.; Gonçalves, B.; *An. Acad. Bras. Cienc.* **1949**, *21*, 219.
21. Stammreich, H.; Forneris, R.; *J. Chem. Phys.* **1953**, *21*, 944. [Crossref]
22. Stammreich, H.; Sala, O.; Forneris, R.; *An. Acad. Bras. Cienc.* **1950**, *22*, 307.
23. Stammreich, H.; Forneris, R.; Sone, K.; *J. Phys. Chem.* **1955**, *23*, 972. [Crossref]
24. Sala, O. Em *Espectroscopia Raman. Princípios e Aplicações*; impresso na gráfica do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica): São José dos Campos, 1984, cap. 1.
25. Stammreich, H.; *Spectrochim. Acta* **1956**, *8*, 41. [Crossref]
26. Thompson, H. W.; *J. Chem. Phys.* **1938**, *6*, 748 [Crossref]; Wood, R. W.; *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* **1929**, *7*, 858. [Crossref]
27. Forneris, R. I. M. G.: *Sobre a Espectroscopia Raman na Região de Comprimentos de Onda Longos. Moléculas Halogênicas e Interhalogênicas Diatômicas*; Tese de Doutorado; Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1961. [Link] acessado em Maio 2025
28. Taylor, R.; *J. Soc. Chem. Ind.* **1929**, *48*, 369. [Crossref]
29. Stammreich, H.; Sala, O.; *Z. Elektrochem.* **1960**, *64*, 741. [Crossref]
30. Stammreich, H.; Sala, O.; *Z. Elektrochem.* **1961**, *65*, 149. [Crossref]
31. Stammreich, H.; Sala, O.; Forneris, R.; *An. Acad. Bras. Cienc.* **1953**, *25*, 375.
32. Stammreich, H.; Bassi, D.; Sala, O.; *Spectrochim. Acta* **1958**, *12*, 403. [Crossref]
33. Stammreich, H.; Sala, O.; Bassi, D.; *Spectrochim. Acta* **1963**, *19*, 593. [Crossref]
34. Stammreich, H.; Sala, O.; Tavares, Y.; *J. Chem. Phys.* **1959**, *30*, 856. [Crossref]
35. Stammreich, H.; Kawai, K.; Sala, O.; Krumholz, P.; *J. Chem. Phys.* **1961**, *35*, 2168. [Crossref]
36. Stammreich, H.; Kawai, K.; Sala, O.; Krumholz, P.; *J. Chem. Phys.* **1961**, *35*, 2175. [Crossref]
37. Stammreich, H.; Bassi, D.; Sala, O.; Siebert, H.; *Spectrochim. Acta* **1958**, *13*, 192. [Crossref]
38. Stammreich, H.; Sala, O.; Kawai, K.; *Spectrochim. Acta* **1961**, *17*, 226. [Crossref]
39. Olivato, P. R.; *Depoimento do Prof. Paulo Roberto Olivato Homenageando o Professor Oswaldo Sala (in memoriam)*, <https://www.iq.usp.br/portaliquusp/sites/default/files/anexos/homenagem%20do%20prof.%20Paulo%20Roberto%20Olivato.pdf>, acessado em Maio 2025.
40. Miller, F. A.; Sala, O.; Devlin, F.; Overend, J.; Lippert, E.; Lüder, W.; Moser, H.; Varchmin, J.; *Spectrochim. Acta* **1964**, *20*, 1233. [Crossref]
41. Miller, F. A.; Frankiss, S. G.; Sala, O.; *Spectrochim. Acta* **1965**, *21*, 775. [Crossref]
42. Wladislaw, B.; Olivato, P. R.; Sala, O.; *J. Chem. Soc. B* **1971**, 2037. [Crossref]
43. Ferraro, J. R.; *Low-Frequency Vibrations of Inorganic and Coordination Compounds*; Plenum Press: New York, 2012.
44. Plyler, E. K.; *J. Res. Natl. Bur. Stand.* **1948**, *41*, 125. [Crossref]
45. O resumo da Tese de doutorado de R. Knudsen (Knudsen, R.: *Estudo Vibracional de Acetamidas Primárias e Tioacetamida Isoladas em Matrizes*; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1990) está disponível *online* em <https://repositorio.usp.br/item/000732898>, acessado em Maio 2025, e a versão física do texto completo pode ser consultado na Biblioteca do Conjunto das Químicas da Universidade de São Paulo.
46. Knudsen, R.; Sala, O.; Hase, Y.; *J. Mol. Struct.* **1994**, *321*, 187 [Crossref]; Knudsen, R.; Sala, O.; Hase, Y.; *J. Mol. Struct.* **1994**, *321*, 197. [Crossref]
47. Della Védova, C. O.; Sala, O.; *J. Raman Spectrosc.* **1991**, *22*, 505. [Crossref]
48. Jubert, A. J.; Baran, E. J.; Sala, O.; *J. Mol. Struct.* **1987**, *156*, 261 [Crossref]; Jubert, A. H.; Baran, E. J.; Diez, A. L.; Sala, O.; *J. Raman Spectrosc.* **1987**, *18*, 23 [Crossref]; Jubert, A. H.; Baró, A. G.; Baran, E. J.; Sala, O.; *J. Raman Spectrosc.* **1989**, *20*, 555. [Crossref]
49. Jubert, A. H.; Varetti, E. L.; Nakamoto, K.; Sala, O.; Aymonino, P. J.; *J. Raman Spectrosc.* **1987**, *18*, 577 [Crossref]; Rubim, J. C.; Temperini, M. L. A.; Corio, P.; Sala, O.; Jubert, A. H.; Chacon-Villalba, M. E.; Aymonino, P. J.; *J. Phys. Chem.* **1995**, *99*, 345. [Crossref]
50. Güida, J. A.; Piro, O. E.; Aymonino, P. J.; Sala, O.; *J. Raman Spectrosc.* **1992**, *23*, 131. [Crossref]
51. Temperini, M. L. A.; Lacconi, G. I.; Sala, O.; *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.* **1987**, *227*, 21. [Crossref]
52. Temperini, M. L. A.; Sala, O.; Lacconi, G. I.; Gioda, A. S.; Macagno, V. A.; Arvia, A. J.; *Langmuir* **1988**, *4*, 1032. [Crossref]
53. Temperini, M. L. A.: *Alguns Aspectos da Espectroscopia Raman Ressonante*; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1977. [Link] acessado em Maio 2025
54. Stammreich, H.; *Phys. Rev.* **1950**, *78*, 79. [Crossref]
55. Sala, O.; Temperini, M. L.; *Chem. Phys. Lett.* **1975**, *36*, 652. [Crossref]
56. NRC Publications Archive, Archives des Publications du CNRC, <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=def04c67-5249-4609-87d7-a2ae13e00cc6>, acessado em Maio 2025.
57. Kiefer, W.; Bernstein, H. J.; *Appl. Spectrosc.* **1971**, *25*, 500. [Crossref]
58. Temperini, M. L. A.; Sala, O.; Bernstein, H. J.; *J. Raman Spectrosc.* **1978**, *7*, 294. [Crossref]
59. Fleischmann, M.; Hendra, P. J.; McQuillan, A. J.; *Chem. Phys. Lett.* **1974**, *26*, 163. [Crossref]
60. Jeanmaire, D. L.; Van Duyne, R. P.; *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.* **1977**, *84*, 1. [Crossref]
61. Albrecht, M. G.; Creighton, J. A.; *J. Am. Chem. Soc.* **1977**, *99*, 5215. [Crossref]
62. Temperini, M. L. A.; Chagas, H. C.; Sala, O.; *Chem. Phys. Lett.* **1981**, *79*, 75. [Crossref]
63. Yi, J.; You, E.-M.; Hu, R.; Wu, D.-Y.; Liu, G.-K.; Yang, Z.-L.; Zhang, H.; Gu, Y.; Wang, Y.-H.; Wang, X.; Ma, H.; Yang, Y.; Liu, J.-Y.; Fan, F. R.; Zhan, C.; Tian, J.-H.; Qiao, Y.; Wang, H.; Luo, S.-H.; Meng, Z.-D.; Mao, B.-W.; Li, J.-F.; Ren, B.; Aizpurua, J.; Apkarian, V. A.; Bartlett, P. N.; Baumberg, J.; Bell, S. E. J.; Brolo, A. G.; Brus, L. E.; Choo, J.; Cui, L.; Deckert, V.; Domke, K. F.; Dong, Z.-C.; Duan, S.; Faulds, K.; Frontiera, R.; Halas, N.; Haynes, C.; Itoh, T.; Kneipp, J.; Kneipp, K.; Le Ru, E. C.; Li, Z.-P.; Ling, X. Y.; Lipkowski, J.; Liz-Marzán, L. M.; Nam, J.-M.; Nie, S.; Nordlander, P.; Ozaki, Y.; Panneerselvam, R.; Popp, J.; Russell, A. E.; Schlücker, S.; Tian, Y.; Tong, L.; Xu, H.; Xu, Y.; Yang, L.; Yao, J.; Zhang, J.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Zhao, B.; Zenobi, R.; Schatz, G. C.; Graham, D.; Tian, Z.-Q.; *Chem. Soc. Rev.* **2025**, *54*, 1453. [Crossref]
64. Temperini, M. L. A.; Barreto, W. J.; Sala, O.; *Chem. Phys. Lett.* **1983**, *99*, 148. [Crossref]
65. Rubim, J. C.; Sala, O.; *J. Mol. Struct.* **1986**, *145*, 157 [Crossref]; Bertolino, J. R.; Temperini, M. L. A.; Sala, O.; *J. Raman Spectrosc.* **1989**, *20*, 725 [Crossref]; Rubim, J. C.; Corio, P.; Ribeiro, M. C.; Matz, M.; *J. Phys. Chem.* **1995**, *99*, 15765 [Crossref]; Rubim, J.

- C.; *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.* **1987**, 220, 339. [Crossref]
66. Marquardt, R.; Gonçalves, N. S.; Sala, O.; *J. Chem. Phys.* **1995**, 103, 8391. [Crossref]
67. Rubim, J.; Gutz, I. G. R.; Sala, O.; Orville-Thomas, W. J.; *J Mol. Struct.* **1983**, 100, 571. [Crossref]
68. Korppi-Tommola, J.; Brown, R. J. C.; Shurvell, H. F.; Sala, O.; *J. Raman Spectrosc.* **1981**, 11, 363. [Crossref]
69. Téllez, C.; Knudsen, R.; Sala, O.; *J. Mol. Struct.* **1980**, 67, 189. [Crossref]
70. Sala, O.; Bassi, D.; Santos, P. S.; Hase, Y.; Forneris, R. I. M. G.; Temperini, M. L. A.; Kawano, Y.; *Espectroscopia Raman. Princípios e Aplicações*; impresso na gráfica do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica); São José dos Campos, 1984.
71. Sala, O.; Araki, K.; Noda, L. K.; *J. Chem. Educ.* **1999**, 76, 1269. [Crossref]
72. Sala, O.; *Quim. Nova* **2007**, 30, 1773. [Crossref]
73. Sala, O.; *Quim. Nova* **2007**, 30, 2057. [Crossref]
74. Sala, O.; *Quim. Nova* **2008**, 31, 914. [Crossref]
75. Sala, O.; Santos, P. S.; Temperini, M. L. A.; *Quim. Nova* **1978**, 1, 3. [Link] acessado em Maio 2025
76. Sala, O.; Kawano, Y.; Santos, P. S.; Temperini, M. L. A.; *Quim. Nova* **1984**, 7, 320. [Link] acessado em Maio 2025
77. de Faria, D. L. A.; Temperini, M. L. A.; Sala, O.; *Quim. Nova* **1999**, 22, 541. [Crossref]
78. Sala, O.; *Fundamentos da Espectroscopia Raman e no Infravermelho*, 2^a ed.; Ed. Unesp: São Paulo, 2011.
79. Riveros, J. M.; *Quim. Nova* **2019**, 42, 1003. [Crossref]
80. Con Profundo Dolor Comunicamos el Fallecimiento del Prof. Oswaldo Sala, <https://cequinor.conicet.gov.ar/con-profundo-dolor-comunicamos-el-fallecimiento-del-prof-oswaldo-sala/>, acessado em Maio 2025.
81. Depoimento do Dr. Richard G. Weiss, Homenagem ao Prof. Oswaldo Sala (1926-2021), <https://www.iq.usp.br/portaliquusp/sites/default/files/anexos/Depoimento%20do%20Dr.%20Richard%20G.%20Weiss.pdf>, acessado em Maio 2025.
82. Gonçalves, N. S.: *Espectroscopia Vibracional do Ânion Croconato*; Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1998. [Link] acessado em Maio 2025