

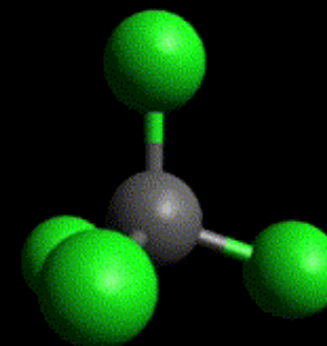
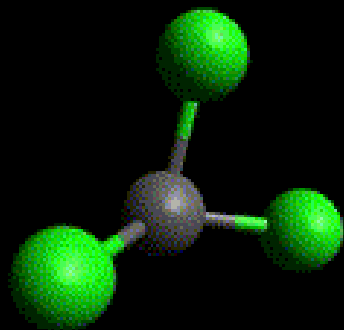


CURSO DE ESPECTROSCÓPIA VIBRACIONAL
PROF. OSWALDO SALA
2025

Cálculos teóricos e espectros vibracionais

Vitor H. Paschoal

São Paulo, 23 de julho de 2025



Programa de hoje

- Visão geral de programas utilizados em cálculos de química quântica
- Escolha de métodos/base para modelar sistemas moleculares
- Frequências imaginárias: o que fazer?
- Melhorando a concordância com a realidade:
 - Fatores de *scaling*
 - Primeira aproximação para efeitos de fase condensada

Os slides/exemplos de inputs/resultados estão disponíveis em:

SCAN ME



<https://github.com/vhpaschoal/Vibros-2025>

Alguns programas utilizados em cálculos de química quântica



Algumas considerações

- Disponibilidade de recursos
- Preço
- Funcionalidades do código
- Curva de aprendizagem
- Capacidade computacional necessária

OPEN ACCESS

IOP Publishing

Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering

Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 31 (2023) 063301 (86pp)

<https://doi.org/10.1088/1361-651X/acd0f6>

Roadmap

Roadmap on electronic structure codes in the exascale era

Vikram Gavini^{1,37,*}, Stefano Baroni^{2,3,*}, Volker Blum^{4,*}, David R Bowler^{5,6,*}, Alexander Burcher⁷, James R Chelikowsky^{8,9,10,*}, Sambit Das¹, William Dawson¹¹, Pietro Delugas², Mehmet Dogan⁹, Claudia Draxl^{7,*}, Giulia Galli^{12,13,*}, Luigi Genovese^{14,*}, Paolo Giannozzi^{3,15}, Matteo Giantomassi¹⁶, Xavier Gonze^{16,*}, Marco Govoni^{12,13,37,*}, François Gygi^{17,*}, Andris Gulans¹⁸, John M Herbert^{19,*}, Sebastian Kokott^{20,29}, Thomas D Kühne^{21,22,*}, Kai-Hsin Liou⁸, Tsuyoshi Miyazaki⁶, Phani Motamarri^{23,*}, Ayako Nakata⁶, John E Pask²⁴, Christian Plessi^{22,25}, Laura E Ratcliff²⁶, Ryan M Richard^{27,28}, Mariana Rossi^{29,30}, Robert Schade^{22,25}, Matthias Scheffler²⁹, Ole Schütt³¹, Phanish Suryanarayana^{32,*}, Marc Torrent^{33,34}, Lionel Truflandier³⁵, Theresa L Windus^{27,28,*}, Qimen Xu³², Victor W-Z Yu¹³ and D Perez^{36,37,38,*}

Algumas considerações

- Disponibilidade de recursos
- Preço
- Funcionalidades do código
- Curva de aprendizagem
- Capacidade computacional necessária

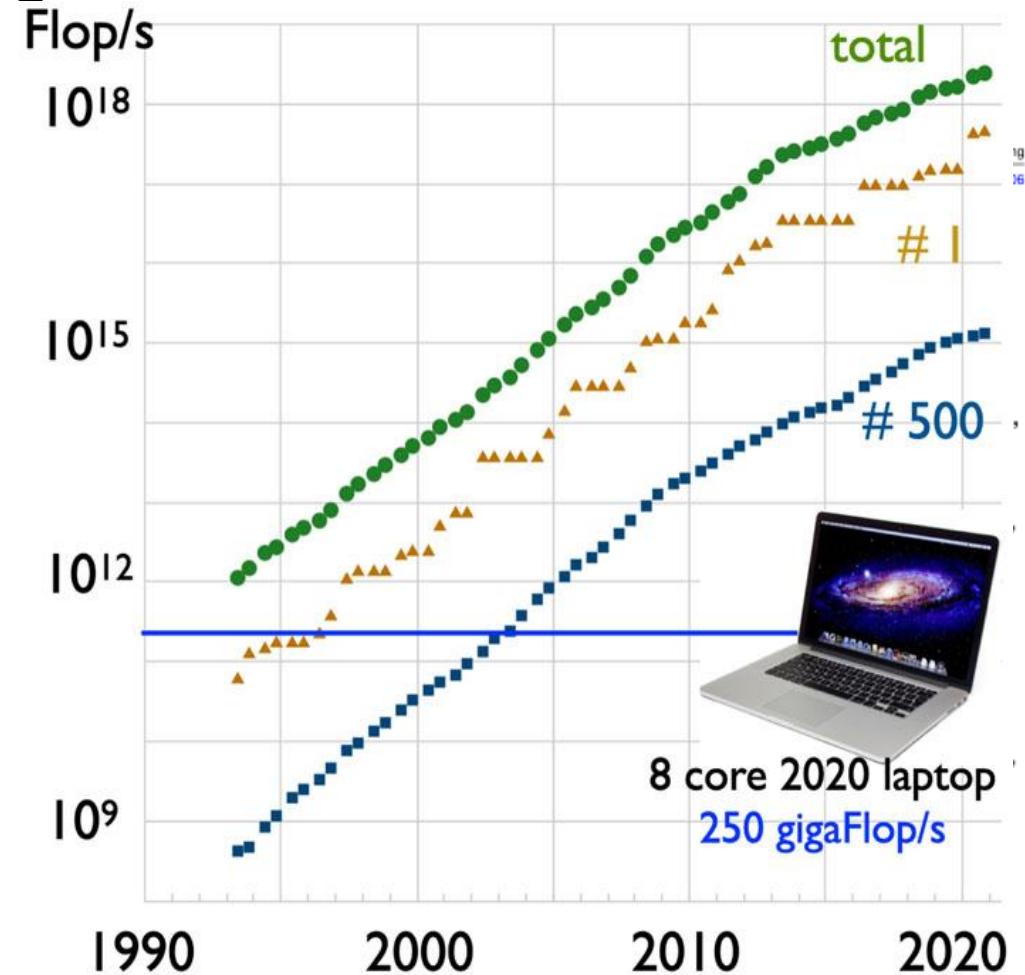


O SDumont possui capacidade instalada de processamento na ordem de 20 Petaflop/s (20×10^{15} float-point operations per second):

Fonte: <https://sdumont.lncc.br/machine.php?pg=machine#>

Algumas considerações

- Disponibilidade de recursos
- Preço
- Funcionalidades do código
- Curva de aprendizagem
- Capacidade computacional necessária



Avogadro+Orca



Topologia
(estrutura da
molécula)

Análise dos
cálculos















Calculadora



An ab initio, DFT and semiempirical SCF-MO package

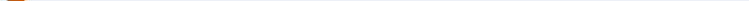
ORCA 6.1.0-f.0

Released: 2025-06-16

	Orca6.1.0.Win64.zip	windows	x86_64	6 GiB	SHA256 
	orca_6_1_0_macosx_arm64_openmpi411.tar.bz2	macos	arm64	687.5 MiB	SHA256 
	Orca6.1.0.Win64_autoci_msmpi10.zip	windows	x86_64	8 GiB	SHA256 
	orca-6.1.0-f.0_linux_x86-64_openmpi41.tar.xz	linux	x86_64	415.6 MiB	SHA256 
	Orca6.1.0.Win64_autoci.zip	windows	x86_64	7 GiB	SHA256 
	orca_6_1_0_macosx_intel_openmpi411.tar.bz2	macos	x86_64	793.5 MiB	SHA256 

[MANUAL](#)[TUTORIALS](#)

<https://www.faccts.de/customer>



▼

Go

Overall list Download configuration

Ministats

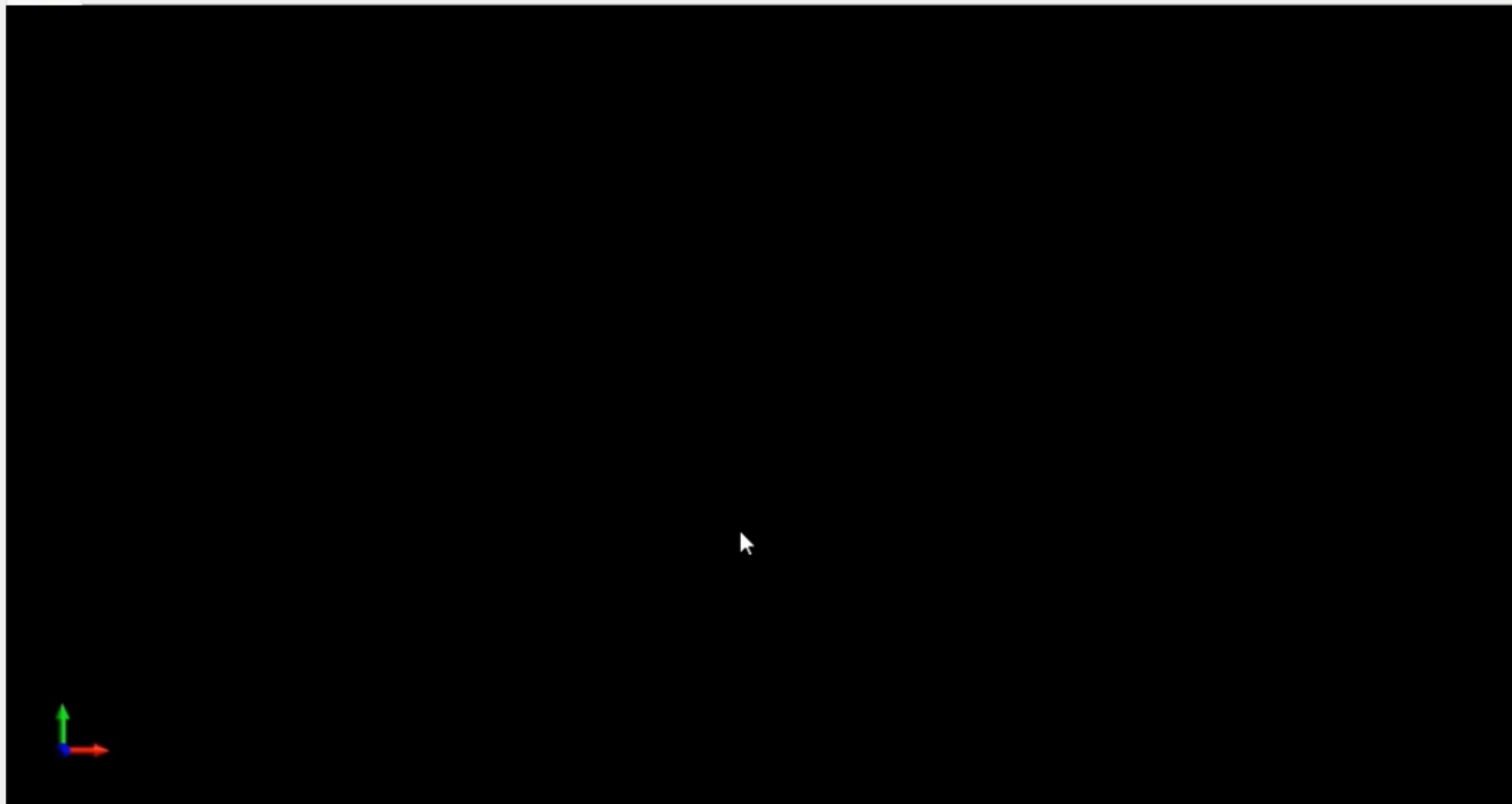
Draw Settings



View 1

Element: Carbon (6)

Bond Order: Single

☒ Adjust Hydrogens

Messages

PS C:\Orca\test_run\Acetona> orca.exe .\Acetona.inp > Acetona.out

PS C:\Orca\test_run\Acetona> orca_pltvib.exe Acetona.hess all

The file is being recognized as a valid orca hessian file

Will plot 30 vibrations:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

creating: Acetona.hess.v000.xyz

creating: Acetona.hess.v001.xyz

creating: Acetona.hess.v002.xyz

creating: Acetona.hess.v003.xyz

creating: Acetona.hess.v004.xyz

creating: Acetona.hess.v005.xyz

creating: Acetona.hess.v006.xyz

creating: Acetona.hess.v007.xyz

creating: Acetona.hess.v008.xyz

creating: Acetona.hess.v009.xyz

creating: Acetona.hess.v010.xyz

creating: Acetona.hess.v011.xyz

creating: Acetona.hess.v012.xyz

creating: Acetona.hess.v013.xyz

creating: Acetona.hess.v014.xyz

creating: Acetona.hess.v015.xyz

creating: Acetona.hess.v016.xyz

creating: Acetona.hess.v017.xyz

creating: Acetona.hess.v018.xyz

creating: Acetona.hess.v019.xyz

creating: Acetona.hess.v020.xyz

creating: Acetona.hess.v021.xyz

creating: Acetona.hess.v022.xyz

creating: Acetona.hess.v023.xyz

creating: Acetona.hess.v024.xyz

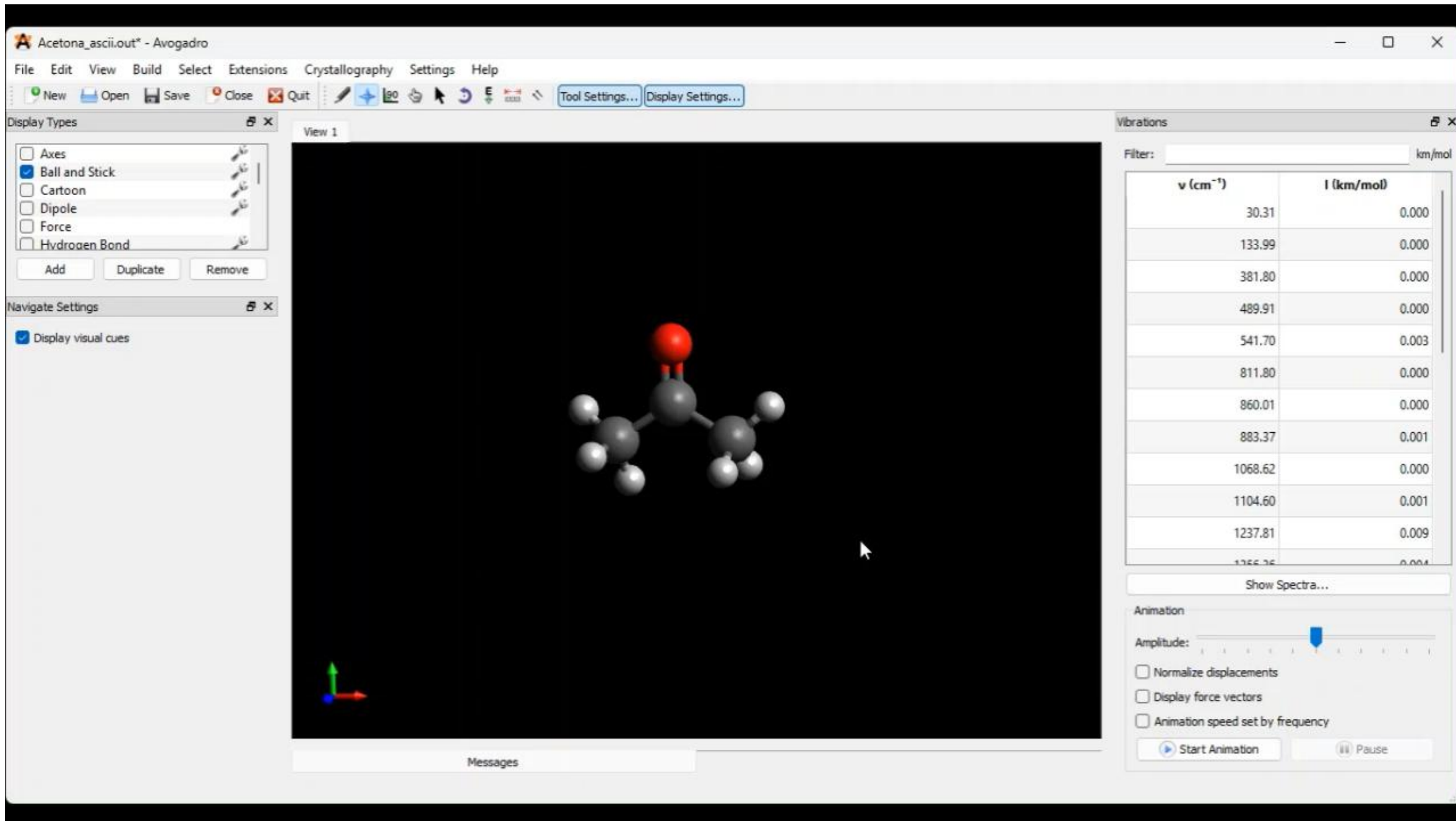
creating: Acetona.hess.v025.xyz

creating: Acetona.hess.v026.xyz

creating: Acetona.hess.v027.xyz

```
Windows PowerShell  X + v
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29

creating: Acetona.hess.v000.xyz
creating: Acetona.hess.v001.xyz
creating: Acetona.hess.v002.xyz
creating: Acetona.hess.v003.xyz
creating: Acetona.hess.v004.xyz
creating: Acetona.hess.v005.xyz
creating: Acetona.hess.v006.xyz
creating: Acetona.hess.v007.xyz
creating: Acetona.hess.v008.xyz
creating: Acetona.hess.v009.xyz
creating: Acetona.hess.v010.xyz
creating: Acetona.hess.v011.xyz
creating: Acetona.hess.v012.xyz
creating: Acetona.hess.v013.xyz
creating: Acetona.hess.v014.xyz
creating: Acetona.hess.v015.xyz
creating: Acetona.hess.v016.xyz
creating: Acetona.hess.v017.xyz
creating: Acetona.hess.v018.xyz
creating: Acetona.hess.v019.xyz
creating: Acetona.hess.v020.xyz
creating: Acetona.hess.v021.xyz
creating: Acetona.hess.v022.xyz
creating: Acetona.hess.v023.xyz
creating: Acetona.hess.v024.xyz
creating: Acetona.hess.v025.xyz
creating: Acetona.hess.v026.xyz
creating: Acetona.hess.v027.xyz
creating: Acetona.hess.v028.xyz
creating: Acetona.hess.v029.xyz
PS C:\Orca\test_run\Acetona> gc .\Acetona.out | out-file -encoding ASCII Acetona_ascii.out
PS C:\Orca\test_run\Acetona> |
```



Display Types

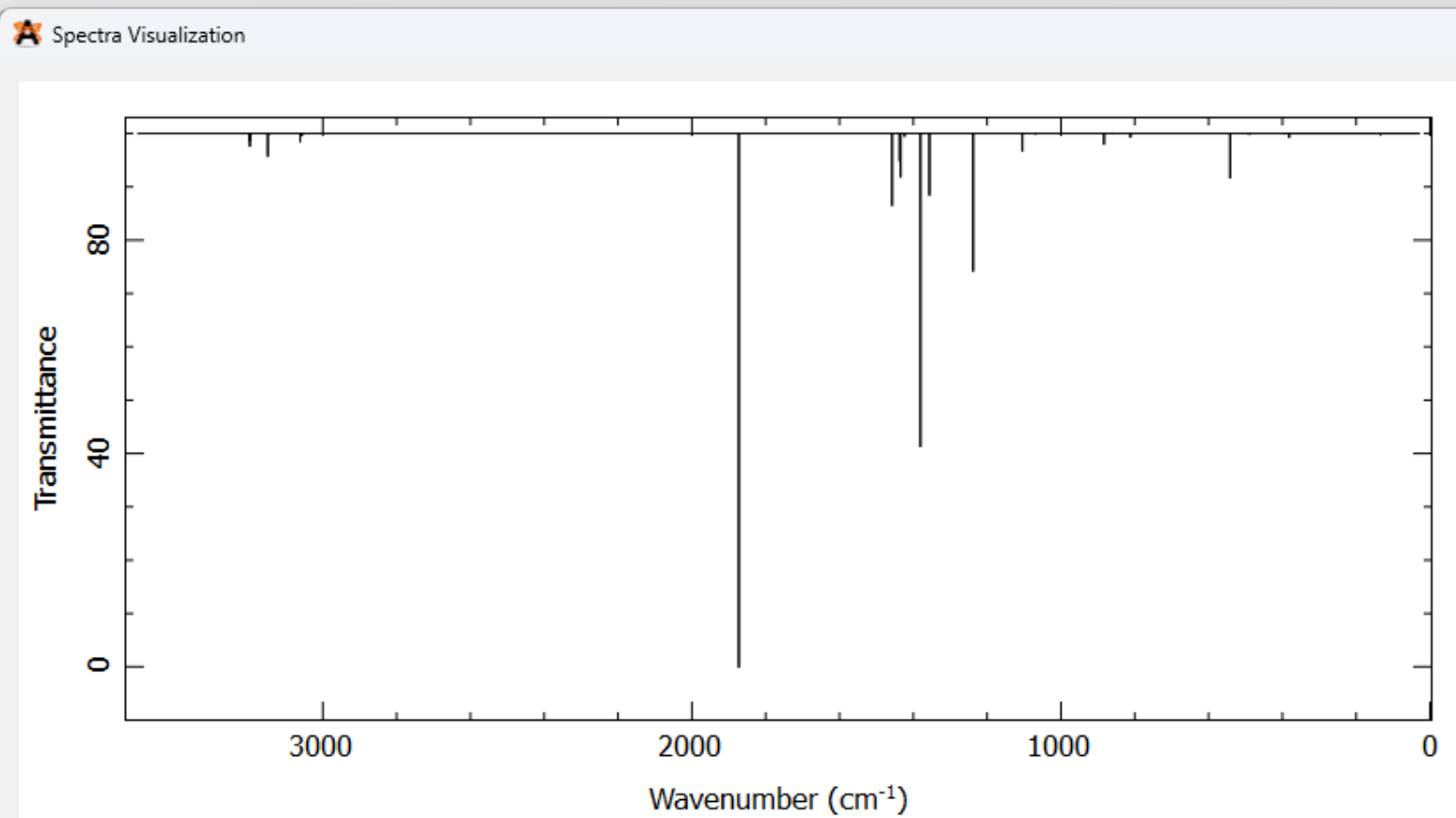
- ☐ Axes
- ☒ Ball and Stick
- ☐ Cartoon
- ☐ Dipole
- ☒ Force
- ☐ Hydrogen Bond

Add

Duplicate

Navigate Settings

- ☒ Display visual cues



Infrared ▾

Load data...

Advanced <<

(1459.07;33.4106)

Close

Appearance

Export Image

Infrared Spectra Settings

Energy Settings

Y Axis Units: Transmittance ▾

Scaling Type: Linear ▾

Line Shape: Gaussian ▾

Scale Factor: 1,0000

Peak Width: 0,0

Points per Peak:

10

☐ Label peaks

Threshold: 0,00

Export Data

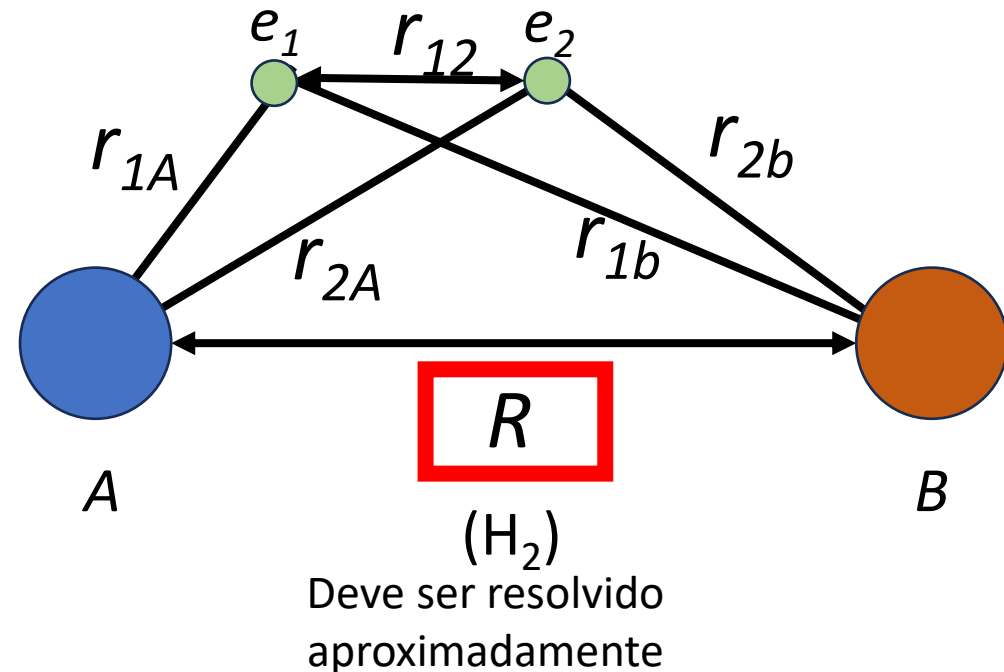
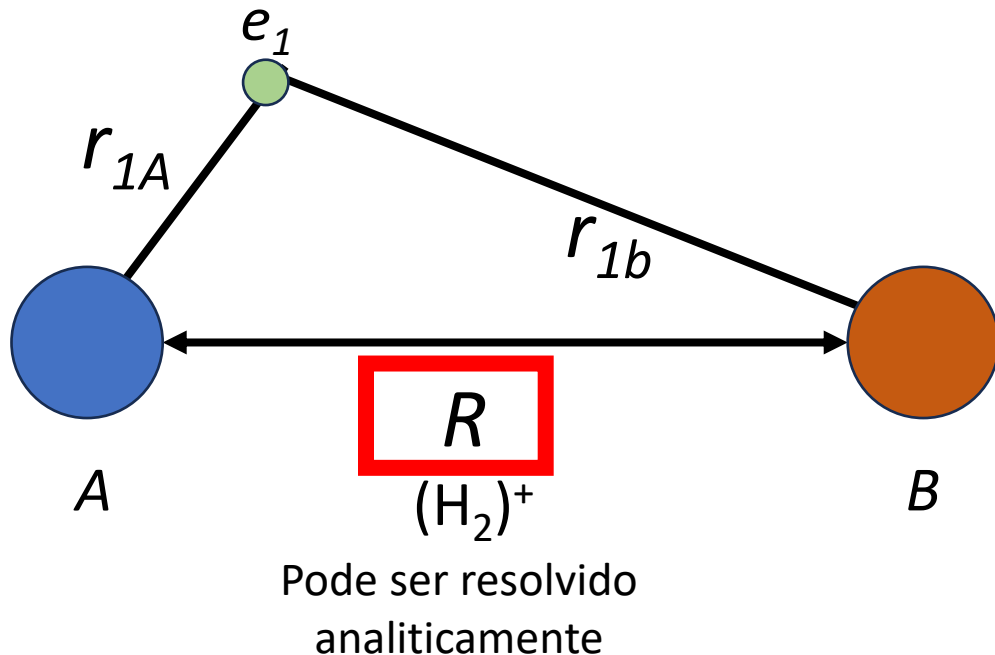
Export Spectra Data

30.31	0.003
133.99	0.143
381.80	0.681
489.91	0.061
541.70	8.282
811.80	0.612
860.01	0.003
883.37	1.901
1068.62	0.050
1104.60	3.206
1237.81	25.724
1356.36	11.485
1380.92	58.644
1423.66	0.439
1434.46	8.067
1436.59	5.076
1457.69	13.422
1872.89	100.000
3055.90	0.334
3061.13	1.459

km/mol

3 ingredientes para realizar um cálculo (mínimo)

- A estrutura/coordenadas da molécula ✓
- Método
- Base



Método

- Como vamos calcular?

Método	Rápido?	Preciso?	
Hartree-Fock	Sim	Não/Aumenta com a base	
<i>Density Functional Theory</i> (DFT)	Sim	Depende	
Métodos baseados em função de onda	Não/Aumenta com a base	Sim/Aumenta com a base	MP _n , CC, CI,...

Funcionais Disponíveis (versão 6.1.0)

- Pelo menos 90 funcionais diferentes estão disponíveis, com possibilidade de customização/modificação

Precisão/Custo ↓	Funcional	Tipo	Característica	↑ Simplicidade
	BLYP	GGA	Boa primeira aproximação/Empírico	
	PBE	GGA	Boa primeira aproximação/Não-empírico	
	B3LYP	Híbrido	Normalmente mostra bons resultados/empírico	
	TPSSH/TPSS0	Híbrido meta-GGA	Melhoria do PBE0	
	ω B97M-V	Híbrido meta-GGA	Feito para ser transferível/Usado no Omol25	
	B2PLYP	Duplo híbrido	Primeiro funcional duplo híbrido	

All

2ZaP
2ZaPa-NR
2ZaPa-NR-CV
3-21G
3ZaP
3ZaPa-NR
3ZaPa-NR-CV
4-31G
4ZaP
4ZaPa-NR
4ZaPa-NR-CV
5-21G
5ZaP
5ZaPa-NR
5ZaPa-NR-CV
6-21G
6-31++G
6-31++G*
6-31++G**
6-31++G**+J
6-31+G
6-31+G*
6-31+G*-J
6-31+G**

search basis sets...

References for selected basis

Plain Text

Get References

Selected Basis Set: (none)

Description:

Latest Version:


Total found: 748 basis sets

748 bases
diferentes!

Select All

Reset Selection

748 bases!



Download basis set

Format	NWChem
--------	--------

Get Basis Set

Advanced

Citation

When publishing results obtained from use of the Basis Set Exchange software, please cite:

• *A New Basis Set Exchange: An Open, Up-to-date Resource for the Molecular Sciences Community*, Benjamin P.ritchard, Doaa Altarawy, Brett Didier, Tara D. Gibson, Theresa L. Windus, *J. Chem. Theory Comput.* 2014, 14, 1513-1526.

Escolha de nível de teoria/base

- Em outras palavras, como calcularemos E e suas derivadas
- Opção 1: testar
- Opção 2: literatura

JCTC

Journal of Chemical Theory and Computation

Article

Cite This: *J. Chem. Theory Comput.* 2017, 13, 5291–5316

pubs.acs.org/JCTC


How To Arrive at Accurate Benchmark Values for Transition Metal Compounds: Computation or Experiment?

Yuri A. Aoto,[†] Ana Paula de Lima Batista,[‡] Andreas Köhn,^{*,†} and Antonio G. S. de Oliveira-Filho^{*,§}

[†]Institut für Theoretische Chemie, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 55, D-70569 Stuttgart, Germany

[‡]Departamento de Química Fundamental, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 05508-000 São Paulo, SP, Brazil

[§]Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 14040-901 Ribeirão Preto, SP, Brazil

 Supporting Information

Escolha de nível de teoria/base

- Em outras palavras, como calcularemos E e suas derivadas
- Opção 1: testar
- Opção 2: literatura



pubs.acs.org/JPCA

Article

VIBFREQ1295: A New Database for Vibrational Frequency Calculations

Published as part of The Journal of Physical Chemistry virtual special issue "10 Years of the ACS PHYS Astrochemistry Subdivision".

Juan C. Zapata Trujillo and Laura K. McKemmish*



Cite This: *J. Phys. Chem. A* 2022, 126, 4100–4122



Read Online

Escolha de nível de teoria/base

- Em outras palavras, como calcularemos E e suas derivadas
- Opção 1: testar
- Opção 2: literatura

The Journal of Physical Chemistry A > Vol 128/Issue 20 > Article

Subscribed

Cite Share Jump to Expand

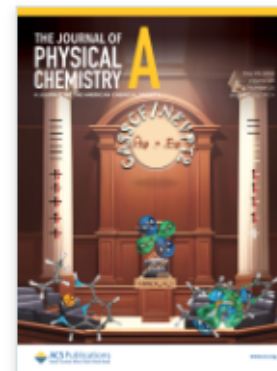
A: STRUCTURE, SPECTROSCOPY, AND REACTIVITY OF MOLECULES AND CLUSTERS | May 10, 2024

A Theoretical Benchmark of the Geometric and Optical Properties for 3d Transition Metal Nanoclusters via Density Functional Theory

Shana Havenridge, and Cong Liu*

Open PDF

Supporting Information (2)



The Journal of Physical Chemistry A

Cite this: *J. Phys. Chem. A* 2024, 128, 20, 3947–3956

<https://doi.org/10.1021/acs.jpca.4c00408>

Published May 10, 2024

Copyright © 2024 UChicago Argonne, LLC, Operator of Argonne National Laboratory. Published by American Chemical Society

[Request reuse permissions](#)

Get e-Alerts

Escolha de nível de teoria/base

- Em outras palavras, como calcularemos E e suas derivadas
- Opção 1: testar
- Opção 2: literatura



Original Article | [Full Access](#)

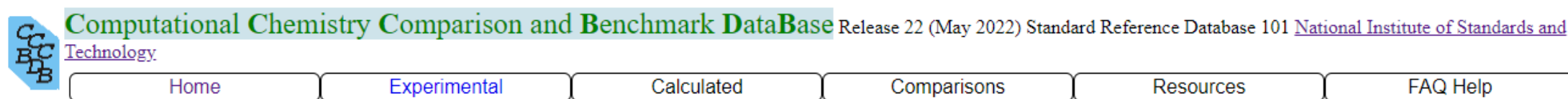
Harmonic vibrational frequencies: Scale factors for pure, hybrid, hybrid meta, and double-hybrid functionals in conjunction with correlation consistent basis sets

Marie L. Laury, Scott E. Boesch, Ian Haken, Pankaj Sinha, Ralph A. Wheeler, Angela K. Wilson

First published: 19 May 2011 | <https://doi.org/10.1002/jcc.21811> | Citations: 56

Escolha de nível de teoria/base

- Em outras palavras, como calcularemos E e suas derivadas
- Opção 1: testar
- Opção 2: literatura



The screenshot shows the header of the Computational Chemistry Comparison and Benchmark DataBase (CCCBDB) website. On the left is the CCCBDB logo. To its right is the title "Computational Chemistry Comparison and Benchmark DataBase" in green, followed by "Release 22 (May 2022) Standard Reference Database 101" and a link to the "National Institute of Standards and Technology". Below this is a navigation bar with six buttons: "Home", "Experimental", "Calculated", "Comparisons", "Resources", and "FAQ Help". The "Home" button is highlighted with a light blue background.

You are here: **Home**

The CCCBDB contains:

Experimental and computed (quantum mechanics) thermochemical data for a selected set of 2186 **gas-phase** atoms and small molecules.

Tools for comparing experimental and computational ideal-gas thermochemical properties.

Vibrational Frequencies, Rotational Constants, Electric Dipole, Electric Quadrupole, Polarizabilities

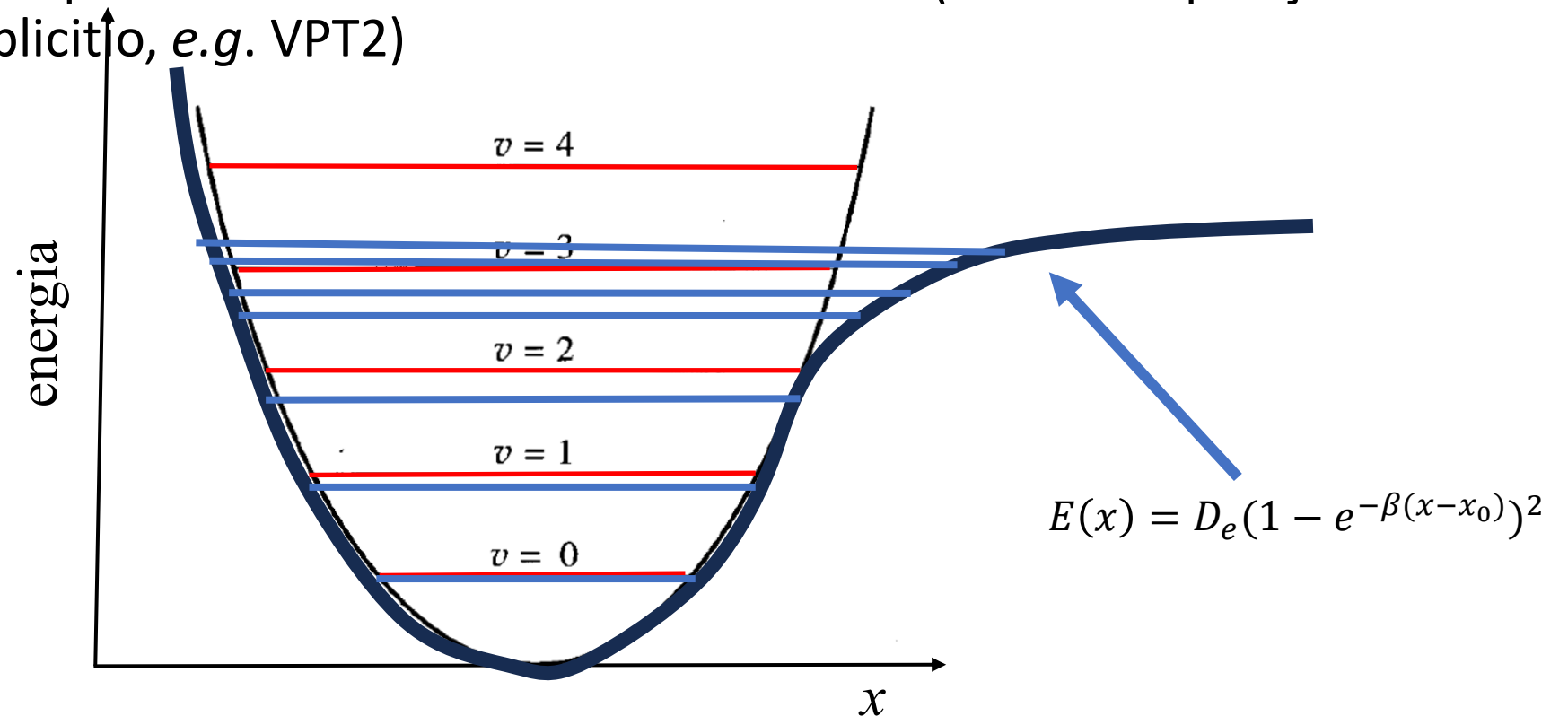
Molecules in the CCCBDB mostly have the following constraints:

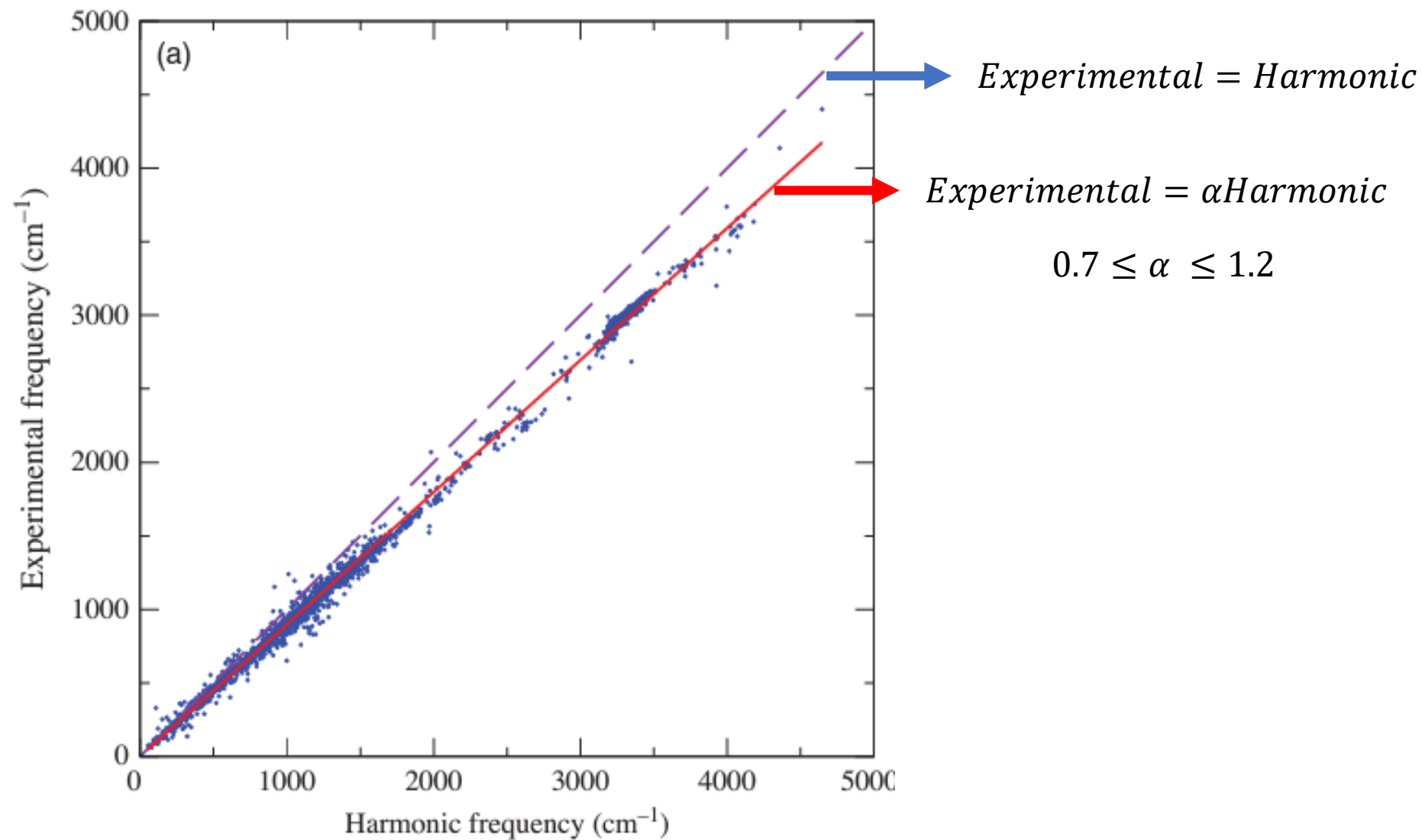
- Well-established experimental heat of formation.
- Atoms with atomic number less than 36 (Krypton) with only a few transition metals. We have added a few molecules containing Te, I, and Xe
- Less than 15 heavy atoms and less than 30 atoms total. Except for a few larger molecules: tetracene, triphenylmethane, coronene, and C₆₀.

Citation	NIST Computational Chemistry Comparison and Benchmark Database NIST Standard Reference Database Number 101 Release 22, May 2022, Editor: Russell D. Johnson III http://cccbdb.nist.gov/ DOI:10.18434/T47C7Z
-----------------	---

Fatores de *scaling*

- Tentativa de melhorar a concordância de frequências vibracionais e parâmetros associados a valores experimentais/referência:
 - Tentativa de compensar um nível de cálculo mais baixo
 - Tentativa de compensar a anarmonicidade do sistema (em contraposição ao seu cálculo explícito, e.g. VPT2)





P Pernot and F. Cailliez. **J. Chem. Phys.** 134, 167101,
2011 DOI:10.1063/1.3581022

3 ingredientes para realizar um cálculo

- A estrutura/coordenadas da molécula ✓
- Método ✓
- Base ✓

- Primeiro cálculo: Água

```
!B3LYP OPT FREQ def2-TZVP
* xyz 0 1
O      -4.00000      0.00000      0.00000
H      -2.97365      0.00000      0.00000
H      -3.99650     -0.97855      0.31165
*
```

```
!B3LYP OPT FREQ def2-TZVP PAL4
* xyz 0 1
O      -4.00000      0.00000      0.00000
H      -2.97365      0.00000      0.00000
H      -3.99650     -0.97855      0.31165
*
```

O que estamos calculando?

$$V = \frac{1}{2} \mathbf{X}^t$$

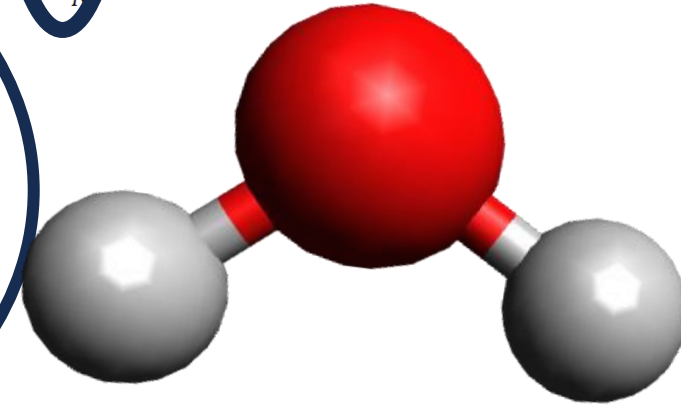
D

X

$(x_1 \ y_1 \ z_1 \ x_2 \ y_2 \ \dots \ z_N)$

x_1
 y_1
 z_1
 x_2
 y_2
 \vdots
 \vdots
 z_N

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 V}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial y_1} & \dots & \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial z_N} \\ \cdot & \frac{\partial^2 V}{\partial y_1^2} & \frac{\partial^2 V}{\partial y_1 \partial z_1} & \dots \frac{\partial^2 V}{\partial y_1 \partial z_N} \\ \cdot & & \cdot & \dots \\ \cdot & & \cdot & \frac{\partial^2 V}{\partial z_N^2} \end{pmatrix}$$



$3N \times 3N = 9 \times 9$

Podemos diminuir o esforço computacional

- Devemos calcular $3N-6$ (ou $3N-5$) modos normais
- A hessiana tem $3N \times 3N$ elementos
- Solução:
 - Encontrar os eixos de inércia da molécula
 - Gerar as coordenadas da molécula nos referências de translação e rotação
 - Reescrever a hessiana em coordenadas internas

$(3N)^2$ cálculos $\rightarrow 3N$

```
Windows PowerShell x + v
Method : SCF
Type of density : Electron Density
Multiplicity : 1
Irrep : 0
Energy : -76.4260554032414348 Eh
Basis : AO

Electronic contribution:      X      Y      Z
Nuclear contribution :      0.689373965      -0.654416888      0.208419624
-----
Total Dipole Moment :      0.574951555      -0.545791881      0.173823178
-----
Magnitude (a.u.) :      0.811586449
Magnitude (Debye) :      2.062888814

-----
Rotational spectrum
-----
Rotational constants in cm-1:      27.555580      14.281237      9.406255
Rotational constants in MHz :      826095.491518      428140.721771      281992.431922

Dipole components along the rotational axes:
x,y,z [a.u.] :      -0.000003      0.811586      -0.000001
x,y,z [Debye]:      -0.000007      2.062889      -0.000003

Dipole moment calculation done in 0.0 sec

-----
SCF HESSIAN
-----
```

Dada uma geometria inicial, a determinação dos eixos de inercia permite o cálculo das constantes rotacionais

=> XC-Hessian ... done (0.3 sec)

=> Explicit contributions done

Dipole derivatives ... done (0.0 sec)

Mass weighting the Hessian ... done

Calculating normal modes ... done

Scaling frequencies ... done

VIBRATIONAL FREQUENCIES

Scaling factor for frequencies = 1.000000000 (already applied!)

0: 0.00 cm**⁻¹

1: 0.00 cm**⁻¹

2: 0.00 cm**⁻¹

3: 0.00 cm**⁻¹

4: 0.00 cm**⁻¹

5: 0.00 cm**⁻¹

6: 1616.04 cm**⁻¹

7: 3781.35 cm**⁻¹

8: 3886.04 cm**⁻¹

NORMAL MODES

These modes are the Cartesian displacements weighted by the diagonal matrix

$M(i,i)=1/\sqrt{m[i]}$ where $m[i]$ is the mass of the displaced atom

Thus, these vectors are normalized but **not** orthogonal

	0	1	2	3	4	5
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

3 ingredientes para realizar um cálculo

- A estrutura/coordenadas da molécula ✓
- Método ✓
- Base ✓

- Primeiro cálculo: Água

```
PS C:\orca\test_run\h2o_compara_metodo> get-content h2o_opt_B3LYP.inp
!B3LYP OPT NUMFREQ def2-TZVP PAL4
* xyz 0 1
  O      -4.00000      0.00000      0.00000
  H      -2.97365      0.00000      0.00000
  H      -3.99650     -0.97855      0.31165
*
```


ORCA NUMERICAL FREQUENCIES

(4-process run)

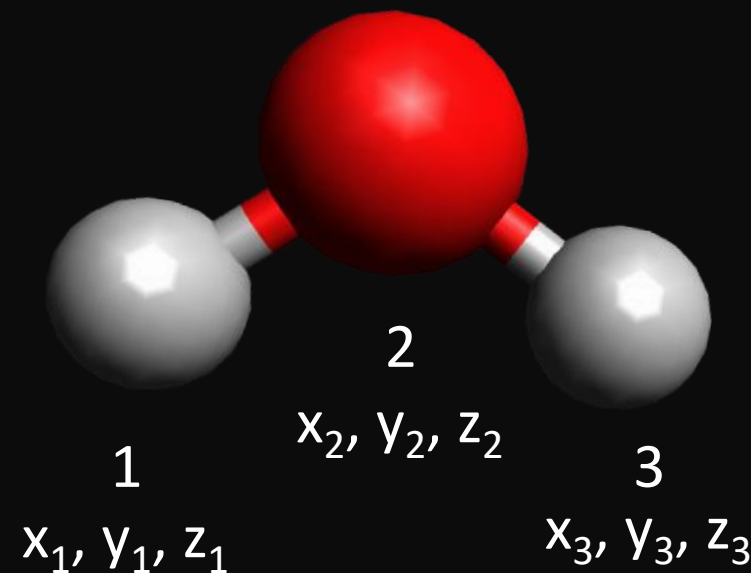
Number of atoms ... 3
Central differences ... used
Translation invariance ... used
Number of displacements ... 18 - 6
Numerical increment ... 5.000e-03 bohr
IR-spectrum generation ... on
Raman-spectrum generation ... off
Surface Crossing Hessian ... off

The output will be reduced. Please look at the following files:

SCF program output ... >.\H2O_opt_B3LYP.lastscf
Integral program output ... >.\H2O_opt_B3LYP.lastint
Gradient program output ... >.\H2O_opt_B3LYP.lastgrad
Dipole moment program output ... >.\H2O_opt_B3LYP.lastmom

List of participating nodes\H2O_opt_B3LYP.hostnames

```
<< Calculating gradient on displaced geometry 3 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 1 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 2 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 4 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 5 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 6 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 7 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 8 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 10 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 9 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 12 (of 12) >>  
<< Calculating gradient on displaced geometry 11 (of 12) >>
```



Cálculos *analíticos* vs. *numéricos*

- Quanto mais rápida e mais precisa é feita a avaliação de derivadas, melhor?
- Aproximadamente:
 - Uma propriedade que pode ser calculada analiticamente (por exemplo, uma derivada da energia em relação a coordenadas nucleares) leva o tempo necessário para o cálculo da energia
 - Uma propriedade calculada numericamente, *e.g.*, $\frac{dE}{dx} \cong \frac{E_2 - E_1}{x_2 - x_1}$, tende a levar mais tempo pela próprio número de pontos que deve ser calculado

Cálculos *analíticos* vs. *numéricos*

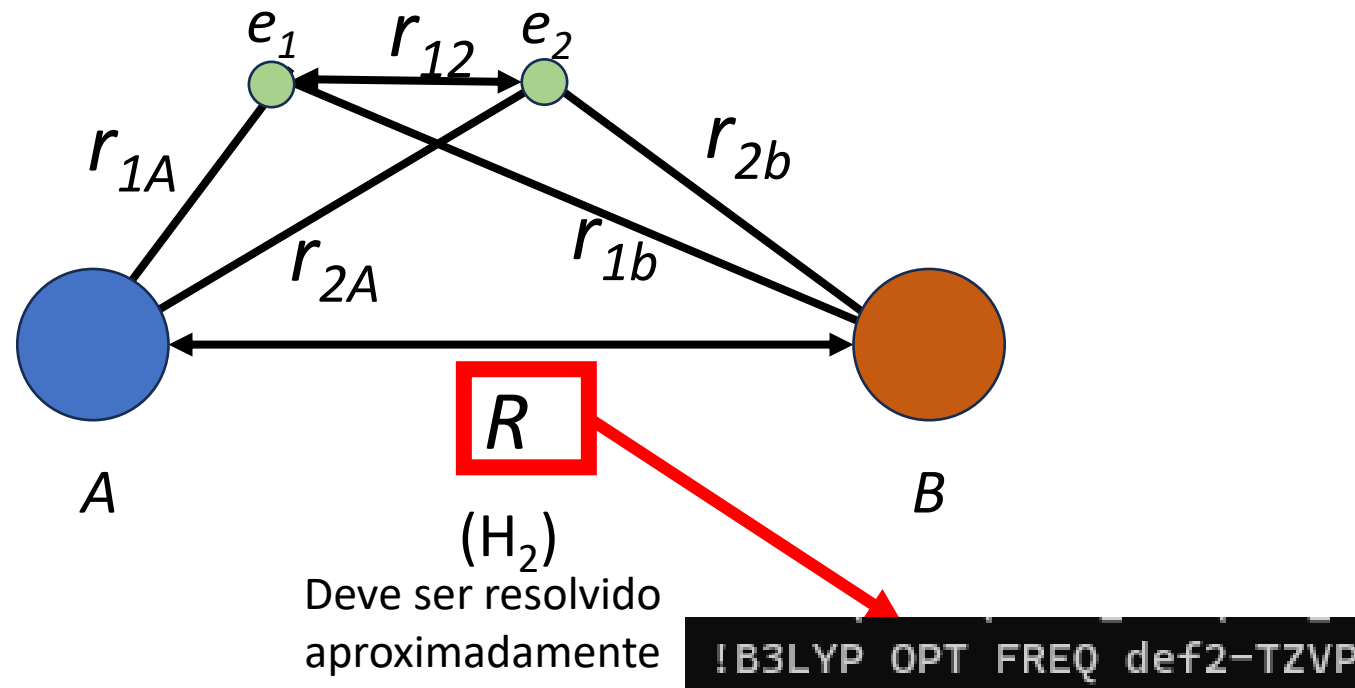
- Quanto mais rápida e mais precisa é feita a avaliação de derivadas,

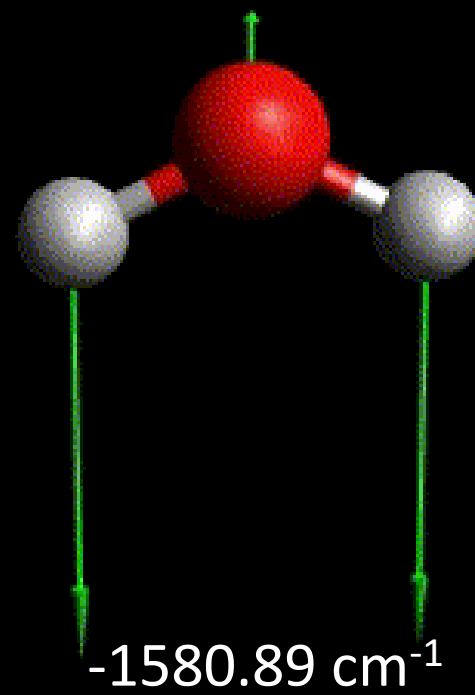
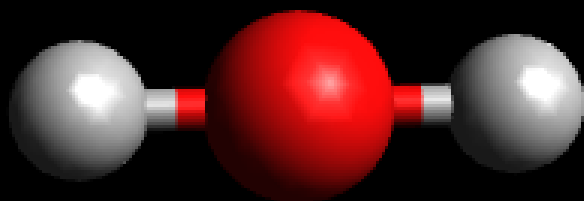
----- VIBRATIONAL FREQUENCIES -----		----- VIBRATIONAL FREQUENCIES -----	
Scaling factor for frequencies = 1.000000000 (already applied!)		Scaling factor for frequencies = 1.000000000 (already applied!)	
0:	0.00 cm** ⁻¹	0:	0.00 cm** ⁻¹
1:	0.00 cm** ⁻¹	1:	0.00 cm** ⁻¹
2:	0.00 cm** ⁻¹	2:	0.00 cm** ⁻¹
3:	0.00 cm** ⁻¹	3:	0.00 cm** ⁻¹
4:	0.00 cm** ⁻¹	4:	0.00 cm** ⁻¹
5:	0.00 cm** ⁻¹	5:	0.00 cm** ⁻¹
6:	1616.04 cm** ⁻¹	6:	1615.81 cm** ⁻¹
7:	3781.35 cm** ⁻¹	7:	3778.74 cm** ⁻¹
8:	3886.04 cm** ⁻¹	8:	3885.20 cm** ⁻¹

terceiro a levar mais tempo para
deve ser calculado

Frequências imaginárias: o que são?

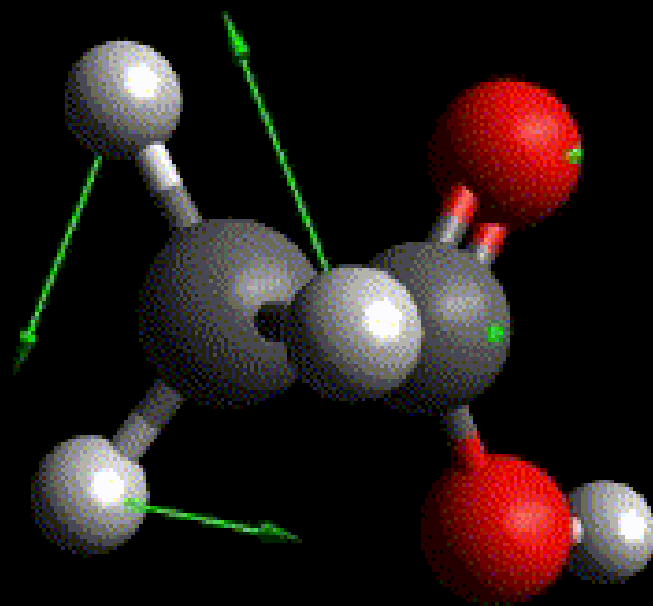
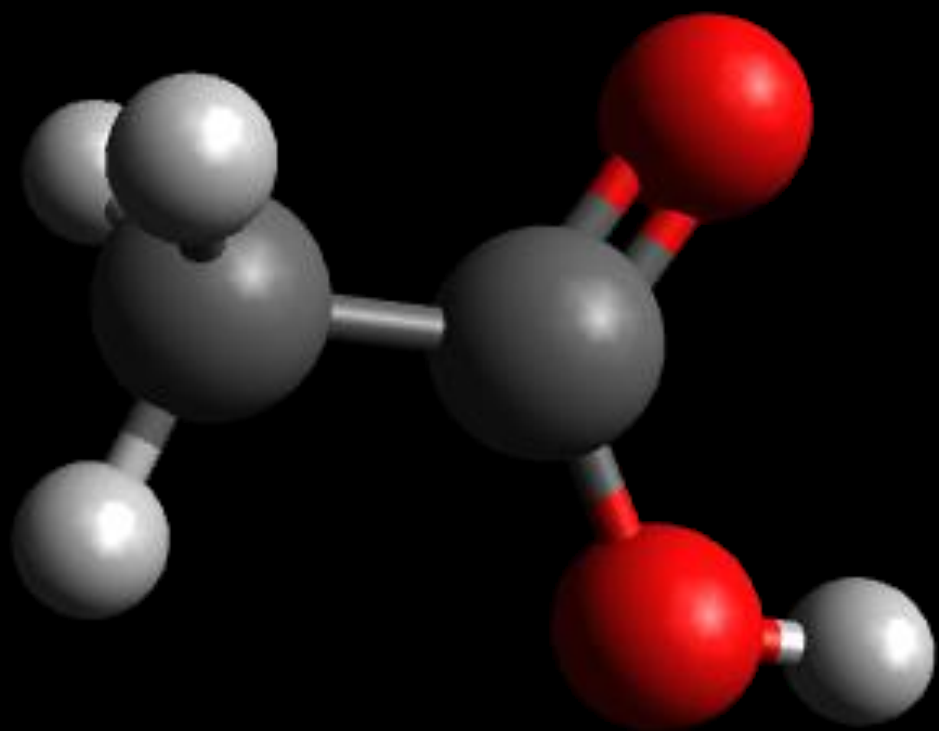
- Mostra que a estrutura está fora de um mínimo de energia \Leftrightarrow não está estável
- Pode estar associada a uma falha na descrição da estrutura da molécula





Frequências imaginárias: o que são?

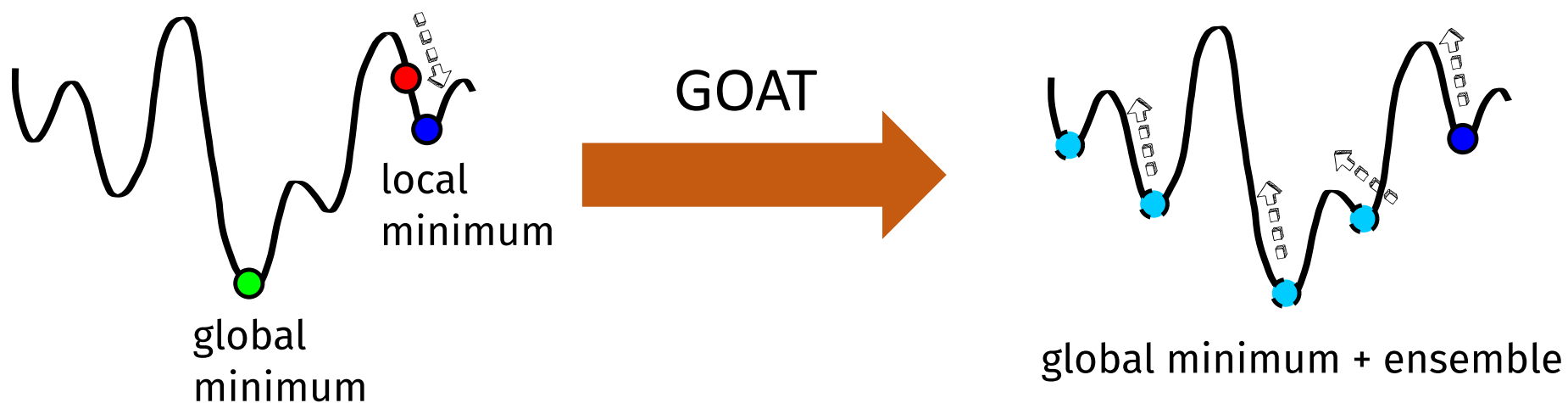
- Mostra que a estrutura está fora de um mínimo de energia \Leftrightarrow não está estável
- Pode estar associada a uma falha na descrição da estrutura da molécula
- Convergência da geometria otimizada



-85.78 cm⁻¹

Frequências imaginárias: o que fazer?

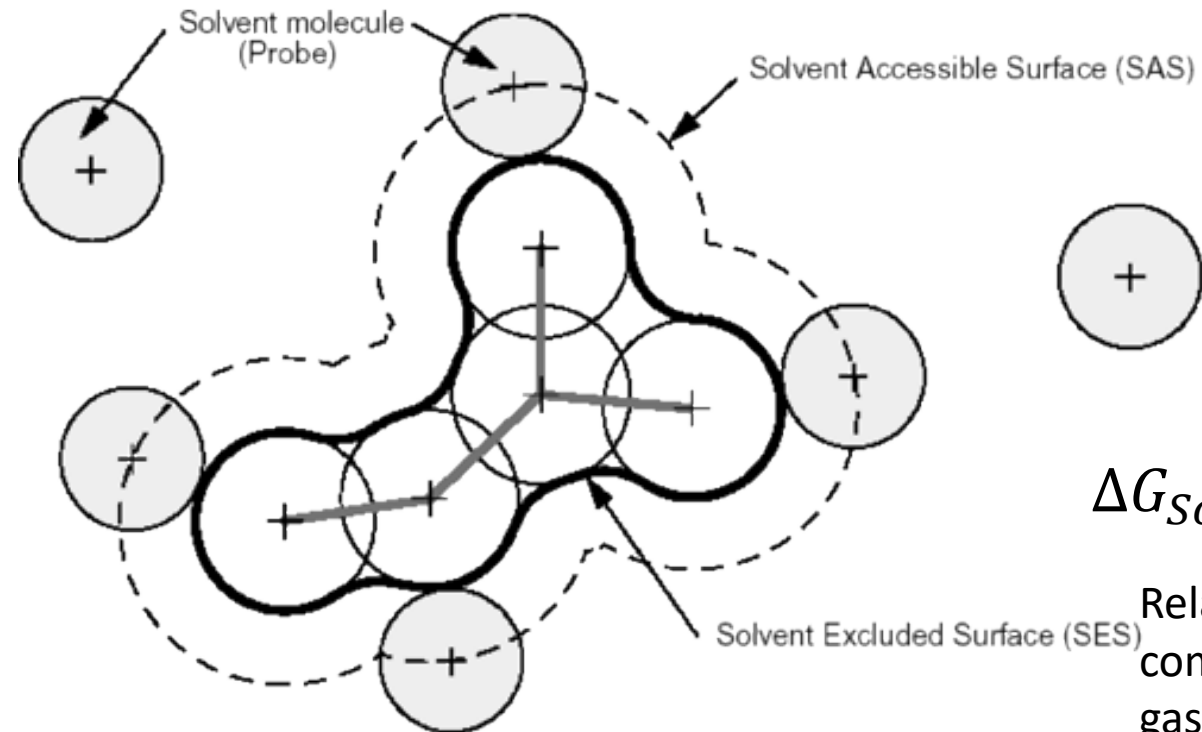
- Seguir a coordenada normal na direção
- Melhorar as condições de convergência na etapa de otimização de geometria:
 - Maior número de ciclos
 - Critério de convergência menor (caso do AcOH)
 - Mudança de algoritmo (*e.g.* GOAT)
 - ...



Primeira aproximação para efeitos de fase condensada

- Os cálculos realizados até agora consideraram uma única molécula em fase gasosa
- Poderíamos gerar configurações da molécula interagindo (solvatação explícita) com o solvente (*e.g.*, SOLVATOR), porém o custo computacional aumenta
- Métodos como PCM (CPCM,DPCM) e SMD, podem ser utilizados como uma primeira aproximação para solvatação
- O solvente será reduzido a uma constante dielétrica/índice de refração

Primeira aproximação para efeitos de fase condensada



$$\Delta G_{Solv} = \boxed{\Delta G_{ENP}} + \Delta G_{CDS}$$

Relaxação da estrutura solvatada comparada a estrutura em fase gasosa + polarização eletrônica

- Geralmente o efeito da solvatação implícita será mais relevante em compostos iônicos (cátions, ânions, zwitterions), o que pode ser utilizado para a especiação destas espécies em solução
- Entretanto, nestas condições é difícil dissociar efeitos da interação específica do solvente (solvatação explícita) de efeitos de solvatação

6290

J. Phys. Chem. B **1998**, *102*, 6290–6298

Amino Acid Chemistry in Solution: Structural Study and Vibrational Dynamics of Glutamine in Solution. An ab Initio Reaction Field Model

F. J. Ramírez,^{*,†} I. Tuñón,[‡] and E. Silla[‡]

*Departamento de Química Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, 29071-Málaga, Spain, and
Departamento de Química Física, Universidad de Valencia, 46100-Burjassot (Valencia), Spain*

Received: April 13, 1998

J. Phys. Chem. B **1997**, *101*, 10923–10938

10923

Molecular Vibrations of Solvated Uracil. Ab Initio Reaction Field Calculations and Experiment

Predrag Ilich, Craig F. Hemann, and Russ Hille^{*}

Department of Medical Biochemistry, The Ohio State University, Columbus, Ohio 43210

Received: February 20, 1997; In Final Form: August 12, 1997[®]

Em resumo

- A escolha do par método/base depende do sistema: (idealmente) devem ser testadas ou (no mínimo) baseadas na literatura disponível
- Frequências imaginárias devem ser exploradas para poderem ser resolvidas
- Fatores de escala podem ser utilizados para reconciliar resultados de cálculos e resultados experimentais
- Métodos de solvatação implícita podem ser utilizados como uma primeira aproximação para descrição de fases condensadas

Slides/Exemplos/...

Vibros-IV



<https://github.com/vhпасchoal/Vibros-2023>

Slides/Exemplos/...

Vibros-V

SCAN ME



<https://github.com/vhпасchoal/Vibros-2025>