

Processamento de amplitude

Prof. Regis Rossi A. Faria



Tópicos

- Conceitos fundamentais
 - Amplitude, níveis e *loudness* (volume)
 - Relação sinal-ruído e faixa dinâmica
- Processamentos de amplitude típicos
 - Amplificação, atenuação e normalização;
 - Compressão e expansão
 - Distorções; *clipping*;
- Laboratório de dinâmica e compansão

Conceitos sobre amplitude

- Usualmente três conceitos distintos relacionados a amplitude podem ser confundir, embora sejam distintos
 - Nível (ex: em dB) → medida de intensidade
 - Ganho
 - Loudness (volume)
- Cadeia de controle de amplitude:
 - há vários estágios onde ganhos e controles de amplitude são aplicados → o resultado precisa ser calibrado para um nível desejado ou calibrado

Nível

- Nível de pico e Nível médio
 - Os valores de picos e médios não são suficientes para caracterizar o nível sonoro porque o primeiro só registra transitórios que não representam toda a duração do som, e o segundo tende a registrar valores nulos devido à natureza oscilatória do som (+ cancela -)
- Nível RMS
 - O nível RMS (*Root Mean Square*) ou raiz quadrática média, é uma medida que permite obter valores eficazes médios e constantes para o sinal sonoro

Nível

- Nível RMS
 - O nível RMS (*Root Mean Square*) ou raiz quadrática média, é uma medida que permite obter valores eficazes médios e constantes para o sinal
 - No método RMS os valores das amplitudes são lidos em tempos regularmente espaçados, são elevados ao quadrado, calcula-se uma média dos valores quadráticos, e extrai-se a raiz quadrada desta média
 - Níveis RMS são proporcionais aos picos mas variam conforme a forma da onda
- Enganos: nível de saída (*output level*) e volume

Loudness

- Conceitos
- Medida perceptual de intensidade
- Loudness de programa (*program loudness*): definidos por padrões pela ITU, EBU, ATSC
 - Medida calculada usando o nível das amostras, ponderando pelo conteúdo de frequências, combinando todos os canais presentes, e integrando ao longo da duração
 - Diferente hoje do antigo medidor de volume VU
 - Padrão que define loudness: ITU BS.1770-3

Loudness

- Program loudness é medido em LUFS (*loudness units below full scale*)
 - Ex:
 - um tom de 1kHz em ambos os canais estéreo de um programa, medindo -20dBFS em cada canal, terá -20LUFS
 - Um tom de 1kHz em só um canal do programa, com -20dBFS, terá -23LUFS
 - Relações de fase não alteram a medida (polaridade)
- Normalização de loudness: volume de programa alvo definido usualmente por padrão
 - Ex:
 - No Brasil, o nível de controle definido é -20dBFS; Na Europa (EBU) definiu -23LUFS +/- 1dB; Nos EUA, -24LUFS +/- 2dB

Decibéis

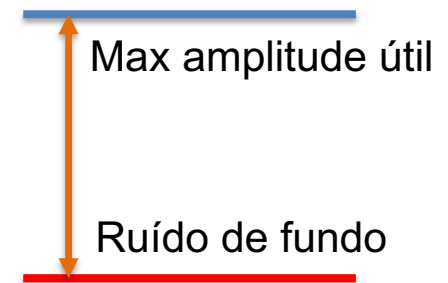
- Decibel: medida relativa
- Em sistemas digitais 0 dB = referência
 - Ex: +6dB = duas vezes mais amplitude [$20\log(2)=6$]
- dBu, dBm, dB SPL, dBFS
 - São unidades, referências pré-definidas que podem ser convertidas para valores absolutos em volts ou potência em equipamentos
 - dBu \rightarrow 0.775V
 - dBm \rightarrow 1mW

Relação sinal/ruído

- *Signal to noise ratio (SNR)*
 - Mede a relação entre o nível do sinal de interesse e o nível de ruído de fundo (*noise floor*) inerente a todo sistema e presente na ausência do sinal de interesse
 - É comum expressar o SNR em uma escala em dB:

$$SNR = 20\log \frac{\text{maxima amplitude RMS do sinal}}{\text{maxima amplitude RMS do ruído}}$$


- A SNR é que define a *faixa dinâmica* do sistema, o intervalo útil para acomodar variações de nível do sinal de interesse



Processamentos de amplitude

- Estes incluem
 - Amplificação, Atenuação, Normalização
 - Compressão e Expansão (compansão) da faixa dinâmica (medida usualmente em dB)
- Alguns efeitos de relevância para a música são baseados na variação periódica de amplitude, como o *tremolo*
- Efeitos de amplitude podem ainda ser implementados pela aplicação de *envelopes de amplitude*, como o tradicional envelope ADSR que conforma as amplitudes de cada segmento de uma nota sonora

Ganho, amplificação, atenuação

- Amplificação
 - expressa como um ganho positivo, usualmente em dB
- Atenuação
 - expressa um ganho negativo, usualmente em dB
- Ganhos
 - expressos como  em diagramas gráficos

Normalização

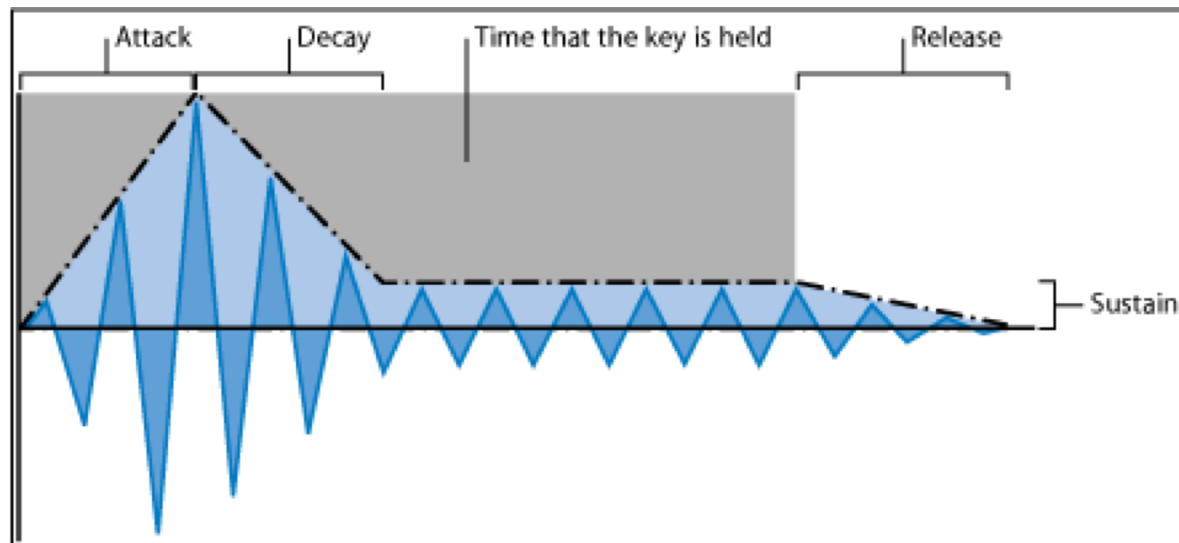
- Processo que altera a amplitude de todas as amostras do sinal com um ganho comum, determinado em função da amplitude máxima dentre as amostras
- Pode-se dividir a amplitude de todas as amostras pela máxima amplitude dentre as amostras, tornando a amplitude_max = 1 e todas as demais um percentual menor que a máxima
 - $\text{Max} = \text{Máxima_A}(i)$
 - Para $i=0$ até $N-1 \rightarrow A(i)=A(i)/\text{Max}$
- Pode-se aplicar um ganho constante a todas as amostras tal que a amplitude máxima atinja um valor específico (ex: norma desejada = 0 dB, ou = -3 dB, etc.)
 - $\text{Ganho_constante} = \text{Nivel_desejado} - \text{Maxima_A}(i)$

Envelopes

- Envelopes permitem “encapsular” ou definir a envoltória de um sinal, tanto no domínio do tempo quanto do da frequência
- Podem ser considerados uma espécie de modulação, que força o sinal a se conformar a uma determinada envoltória
- São bastante utilizados para segmentação e isolamento de sons em diversas aplicações

Envelopes temporais

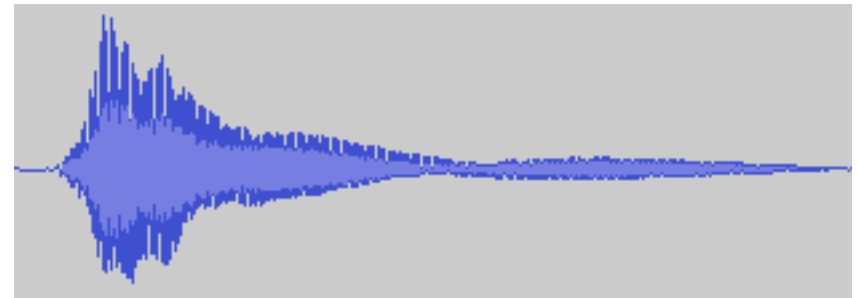
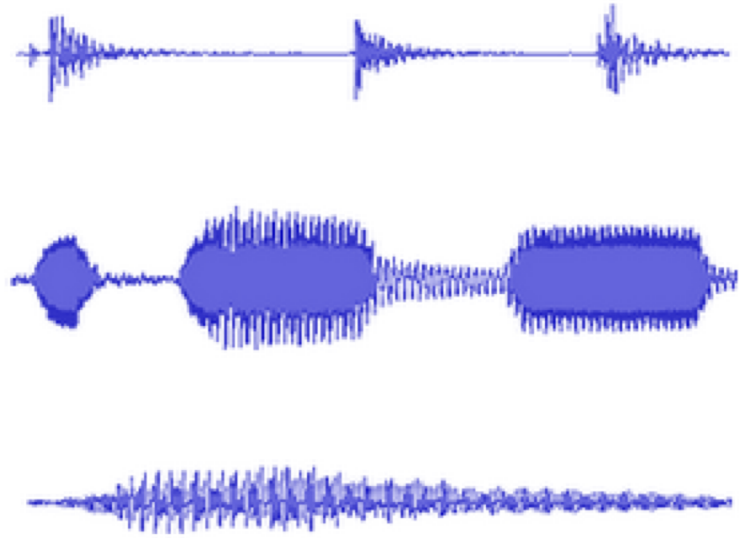
- Os envelopes definem *um perfil de valores no tempo* que permitem moldar certos segmentos do sinal com características específicas, distintas de outros
- Um exemplo é o envelope de amplitude ADSR, que define os valores máximos de amplitude que o sinal oscilante poderá assumir no decorrer de uma nota musical típica



Envelope ADSR
c/ 4 trechos:
ataque,
decaimento,
sustentação e
liberação

Envelopes de notas musicais

- Notas musicais de instrumentos acústicos diferentes exibem uma evolução no tempo também diferente, caracterizando trechos com *perfis de amplitude distintos* nos estágios do *Ataque*, *Decaimento*, *Sustentação* e *Liberção* (*Release*)

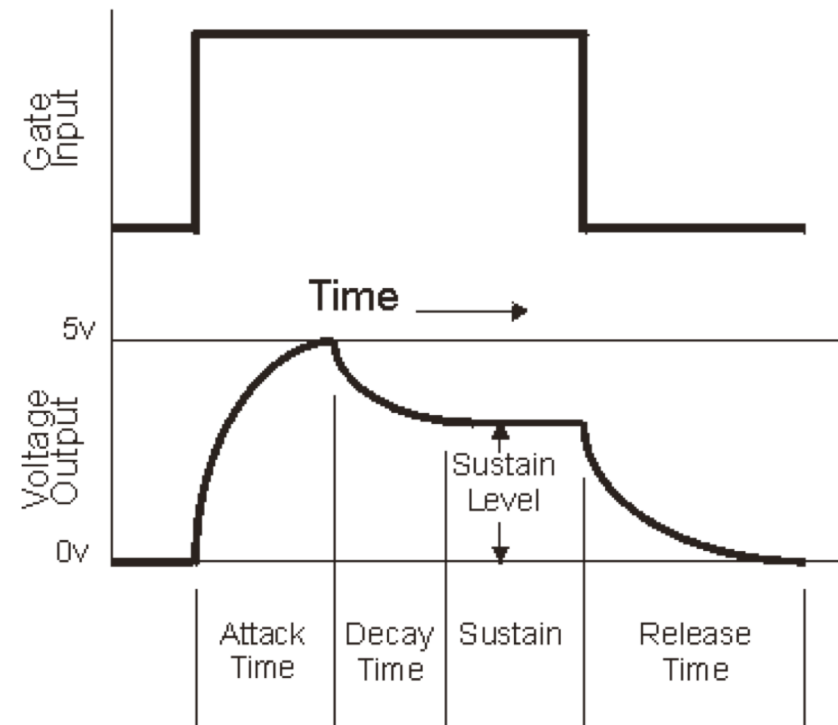


Envelopes temporais e espectrais

- Além de exibir perfis de amplitude distintos, cada estágio exibe também um *perfil espectral* distinto
- O perfil espectral permite traçar uma envoltória ou *envelope espectral*, que delimita a faixa espectral contida no som
- Vejamos o espectro característico de cada estágio da nota musical usando o programa Audacity

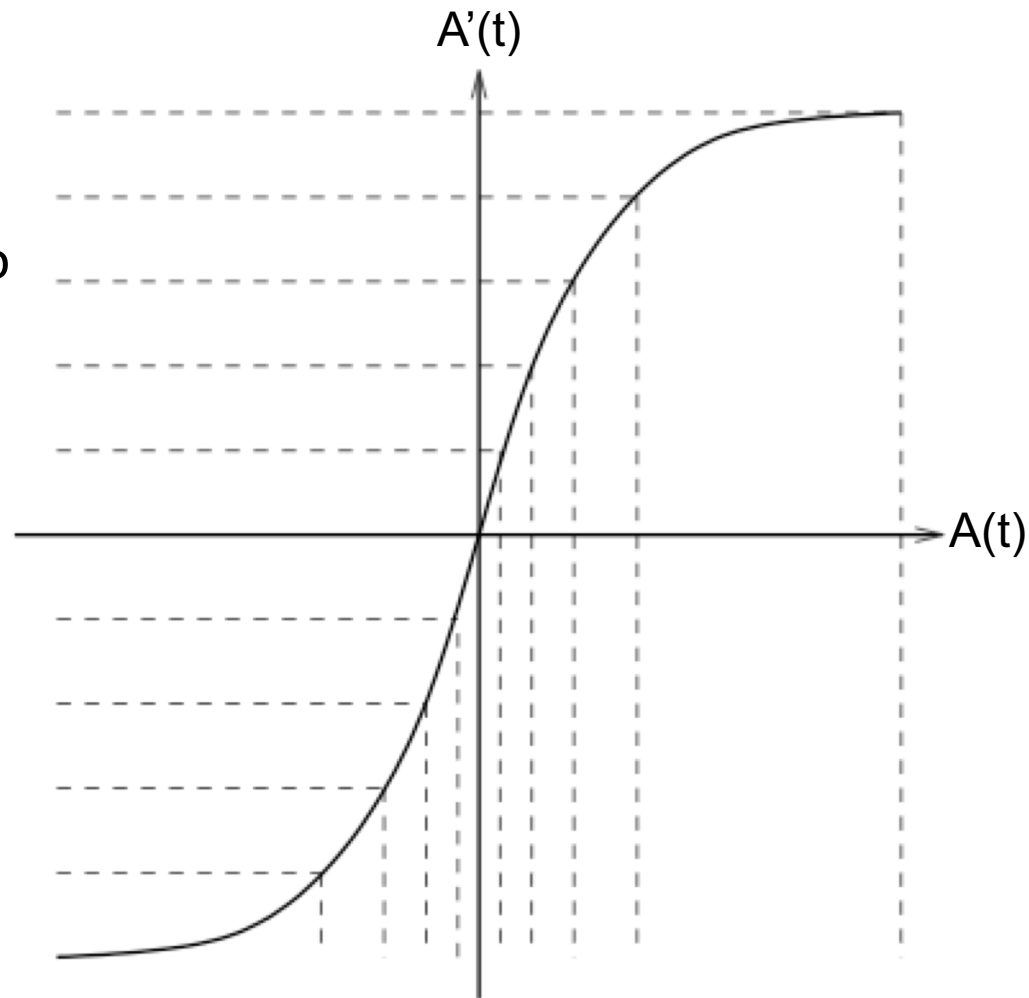
Formas e geração de envelopes

- Os envelopes podem ter várias formas possíveis, de acordo com o efeito que se deseja criar na evolução da nota
- Podem ser disparados por um evento (ex: *gate input*, nota de um teclado, etc.)
- Após o disparo, um gerador de envelope poderá controlar então o perfil da amplitude do som ao longo de sua duração



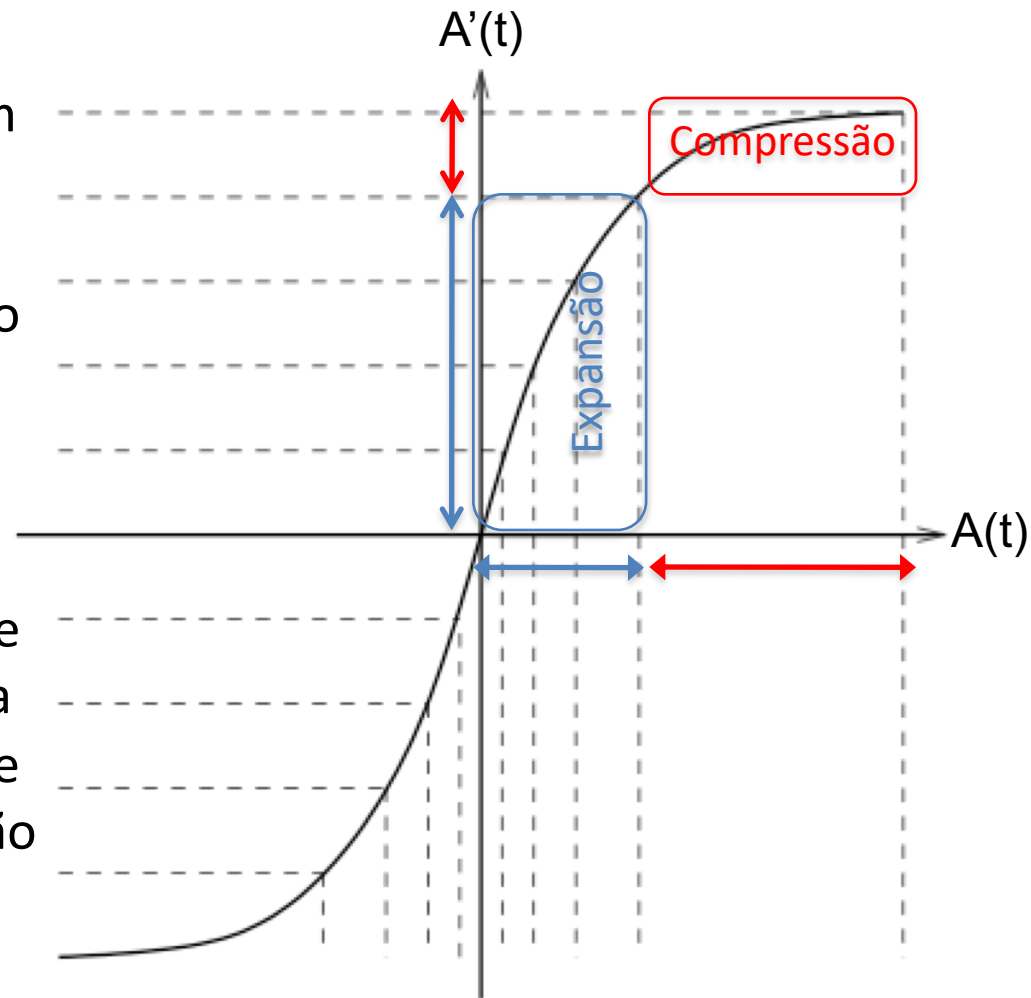
Curvas de transferência

- Curvas de transferências são usadas para modificar a amplitude de grandezas sonoras, tanto no domínio do tempo quanto na frequência
- Como as funções, elas permitem determinar qual será a nova amplitude A' da grandeza alterada em função do seu valor original A
- Um exemplo clássico são as curvas de compressão e expansão dinâmicas



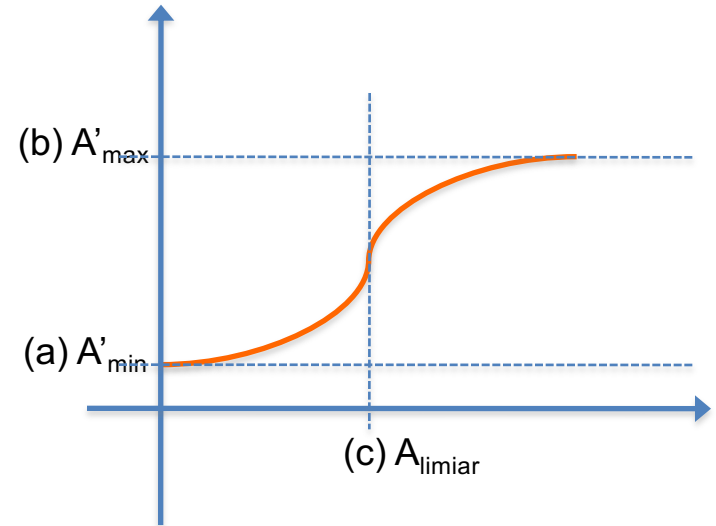
Compressão/Expansão

- Operações que conformam ou limitam a faixa dinâmica de um sinal $s(t)$ de forma que não exceda um valor máximo nem seja inferior a um valor mínimo
- O conceito da operação de **compressão** (limitação da amplitude) e de **expansão** (ampliação da amplitude) pode ser explicado por meio de uma única curva de transferência de *compansão*, que exhibe a relação entre o *valor de entrada* A versus o *valor de saída* A'



Compressão/Expansão

- Uma mesma curva portanto, dependendo do valor de entrada, pode atuar ampliando ou reduzindo a amplitude instantânea do sinal $s(t)$
- Cinco parâmetros são necessários para se definir uma curva de compansão:
 - (a) valor mínimo (amplitude inicial de operação)
 - (b) valor máximo (amplitude final de operação)
 - (c) limiar (amplitude de atuação de referência, ou *threshold*)
 - (d) taxa de compressão/expansão (ex: 2:1, 1.5: 1, etc.)
 - (d) geometria da curva (linear, quadrática, exponencial, semi-retas, etc.)

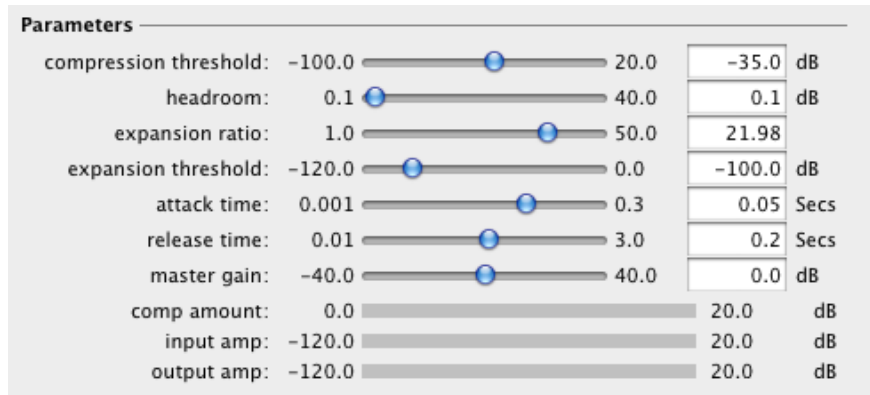
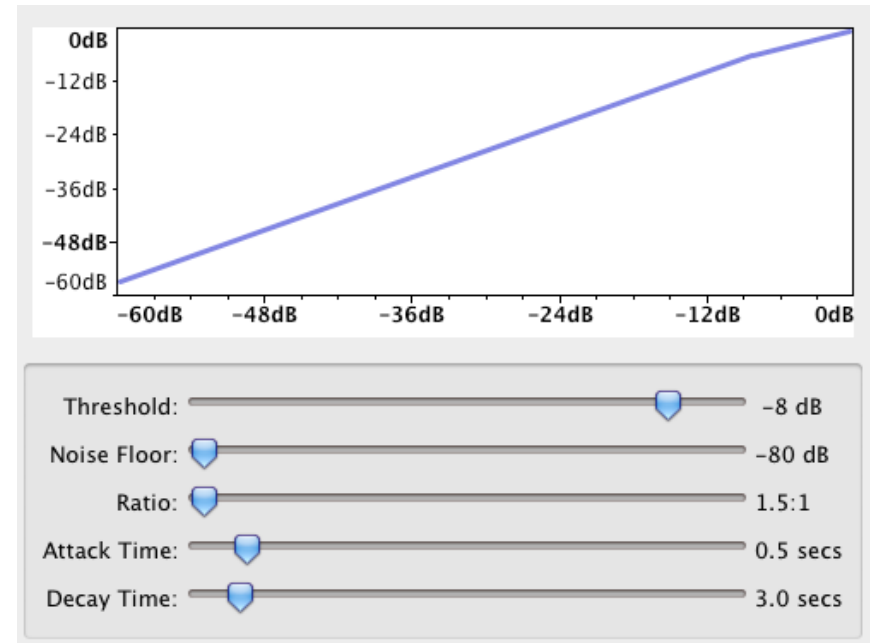


Note ainda que:

✓ $(A'_{\max} - A'_{\min})$ será a *faixa dinâmica* de saída

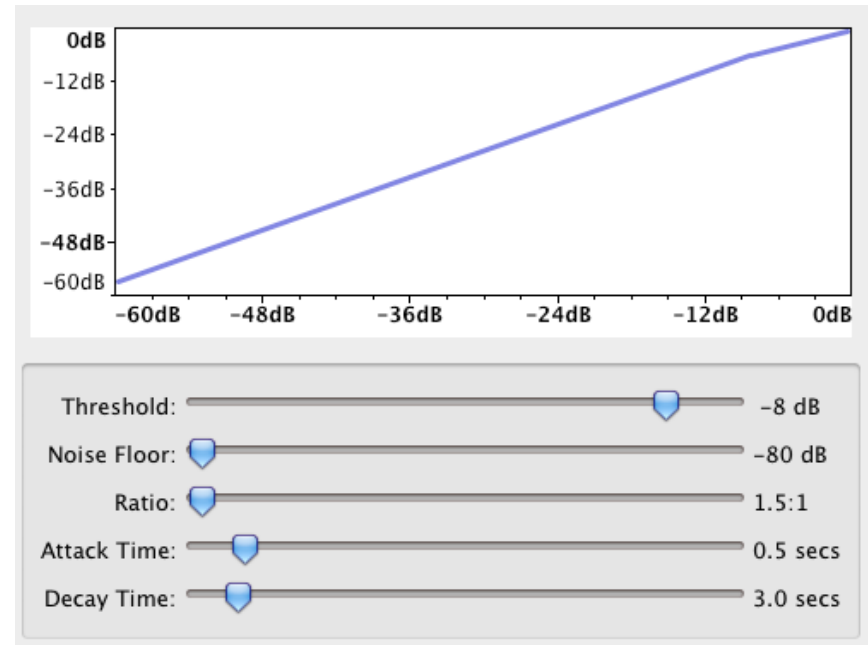
Compressão/Expansão

- Além destes parâmetros, alguns compressores/expansores trazem outros parâmetros como
 - *tempo de ataque* (tempo para o efeito atuar)
 - *tempo de release* (tempo para parar de atuar ou para decaimento)
- Processadores dinâmicos costumam ainda incluir um fator de amplificação global que desloca toda a curva segundo um ganho global



Compressão/Expansão

- Note também que frequentemente a curva apresentará sua escala definida entre o valor máximo digital admissível (0 dB) e todos os valores de amplitude abaixo, até o limite do nível de ruído (*noise floor*)



Distorções

- *Clipping*
 - é a saturação de um sinal, em que as amplitudes das amostras atingem ou ultrapassam o máximo registrável e são então ceifadas ao valor máximo
 - Ocorre devido ao excesso de ganho de amplificação
- THD (*total harmonic distortion*)
 - Tipo de distorção não-linear quando frequências múltiplas de uma fundamental do sinal são adicionadas ao mesmo, devido ao meio que o transmite ou processa
 - Calculada como uma razão de distorção do sinal em relação ao sinal original

eof