

# Comentários sobre o Desmonte de Rochas com Explosivos

## Teoria da detonação (parte 01 de 02)

Por Bruno Pimentel.

Olá meus amigos, espero que todos tenham tido uma boa virada de ano, e mesmo atrasado, eu aproveito para desejar a todos um feliz 2023 com muita saúde, felicidade e sucesso.

Ficamos os meses de dezembro e janeiro sem realizar nossas publicações, pois são meses festivos e de férias, além do fato de que estava de mudança, então aproveitei o tempo para ambientar e aproveitar a família na nova rotina, mas esperamos agora estar voltando com nossas publicações quinzenais e apesar de que a nova rotina está bem puxada, tentaremos manter as publicações em dias.

Assim que sem enrolação vamos lá para mais um artigo da nossa Newsletter sobre desmonte de rochas com explosivos, e como sempre, deixamos aqui os links para que possa verificar os nossos artigos anteriores, assim como se registrar, para que sejam notificados automaticamente a cada novo artigo que publicamos (quinzenalmente):

Português

<https://www.linkedin.com/newsletters/desmonte-de-rocha-c-explosivo-6941709482355748864/>

English

<https://www.linkedin.com/newsletters/rock-blasting-6959820770344595456/>

Esses dias estava pensando o quanto as pessoas que trabalham nas áreas correlatas têm curiosidade e interesse pelo desmonte, inclusive muita gente sempre gosta de palpitar, e como em qualquer área, muitos não tem nem ideia do que estão falando.

Inclusive conversando com um amigo, ele me falava de um discurso que teve onde os conceitos básicos já tinham ido para os ares a muito tempo e cada uma vinha com uma teoria mirabolante para dar solução aos problemas do desmonte, e como sempre digo, todo mundo tem grandes ideias, o difícil é fazer com que elas se realizem... kkkk...

Assim que decidi nos próximos artigos fazer uma revisão geral dos conceitos e teorias básicas sobre a detonação e a fragmentação de rochas, que apesar de estarem totalmente ligados, dentro do desmonte, precisamos entender primeiro como o explosivo detona e quais são as reações ou efeitos gerados por essa detonação, para depois poder compreender como eles atuam na rocha e principalmente como a rocha reage ao ser impactada pelos efeitos da detonação.

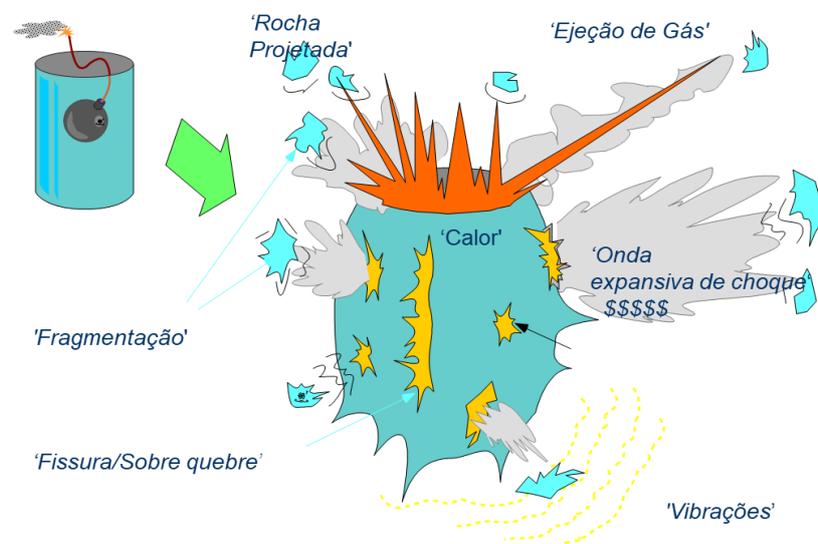
Lembrando que sempre nós procuramos dar uma visão geral e não entraremos em detalhes ou discursões de qual a melhor teoria ou não, e que tentaremos fazer alguns comentários sobre os conceitos mais aceitos e os que são mais fáceis de aplicarmos no dia a dia.

Então no artigo de hoje vamos iniciar comentando sobre os principais pontos do processo de detonação do explosivo, considerado que esse explosivo estará confiado dentro de um furo na

rocha, revisando algumas teorias e conceitos importantes, para a partir daí irmos seguindo a linha de raciocínio ao longo do processo de detonação.

Apesar de ser um tema bem teórico, ele é muito importante, e bom seria que todos que estivessem envolvidos com a detonação conhecessem bem esses conceitos básicos, porque eles nos ajudam a entender quais são os possíveis efeitos durante uma detonação, tanto efeitos benéficos, que vão gerar os resultados que precisamos, como efeitos com grande potencial de risco, que precisamos conhecer para evitá-los durante o processo.

Um outro ponto importante sobre esses conceitos básicos é que eles nos ajudam a compreender melhor a necessidade de controlarmos o preparo e a qualidade das nossas detonações, pois passamos a entender melhor o que precisamos fazer, para que durante o processo de detonação, possamos aproveitar ao máximo a energia liberada pelos explosivos para alcançar os nossos objetivos.

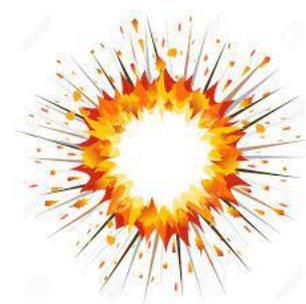


Então sem demoras, vamos lá para o nosso tema de hoje!!!

## Processo de detonação

### Introdução

De modo geral, normalmente quando se pensa na detonação de um explosivo qualquer, nos vem na cabeça a imagem ao lado, onde pensamos numa carga pontual explodindo desde o seu ponto central, pois o processo é tão rápido que consideramos que o explosivo detona instantaneamente. Assim que normalmente não consideramos a forma do explosivo, o seu tamanho ou quantidade, e nem o meio onde ele está detonando e atuando.

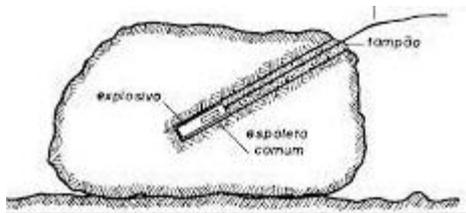
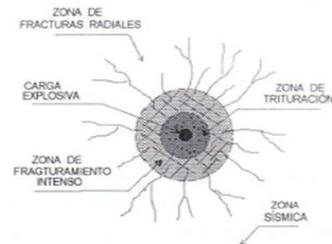


Com isso, nós sempre imaginamos a onda de choque como uma esfera que sai do ponto central do explosivo e vai se expandindo, como na figura abaixo, onde podemos observar o contorno da onda de choque gerada pela detonação de uma carga a céu aberto, ou seja, sem confinamento, e nela podemos observar a meia esfera superior da onda de choque gerada por sua explosão.



Assim que é comum se iniciar a maioria das teorias sobre detonação considerando o explosivo como uma carga esférica e pontual, que libera sua energia igualmente em todas as direções a sua volta, considerando que qualquer ponto dentro de um mesmo raio receberia o mesmo nível de energia e sofreria os mesmos efeitos.

Quando trazemos isso para o desmonte de rochas, um exemplo mais próximo desse cenário teórico, seria pensar no caso ideal, onde teríamos que detonar um bloco de rocha, e pudéssemos supor que esse bloco de rocha é uma esfera perfeita, e que conseguiríamos colocar uma carga explosiva esférica no seu centro, assim quando detonássemos essa carga, supostamente poderíamos considerar que sua energia seria liberada igualmente em todas as direções, maximizando o seu efeito sobre o bloco, e com isso, teríamos um maior aproveitamento da energia do explosivo e um resultado de fragmentação desse bloco bem padronizado ao longo de toda a sua extensão.



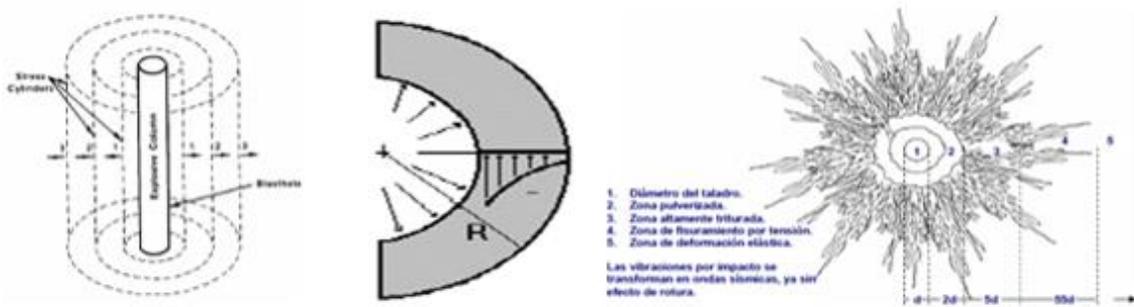
Mas esse é um cenário hipotético, que apesar de que muitas teorias consideram dessa forma para poderem realizar os cálculos de energia mais facilmente, na realidade, mesmo ao detonar um bloco de rocha, sabemos que não teremos uma esfera de rocha e sim uma forma irregular, composto por uma rocha que muda suas características ao longo do bloco, e ainda mais, temos que fazer um furo ou utilizar técnicas alternativas para poder colocar o explosivo, que terá uma atuação totalmente distinta em cada situação, de acordo com as características reais de cada cenário, e o seu efeito vai variar de acordo as condições da rocha e de sua aplicação.

Então, resumindo, para não entrar em muitos detalhes nas considerações teóricas, podemos dizer que na prática, isso não ocorre assim, primeiramente porque nós não temos cargas pontuais, com exceção de pequenas detonações onde colocamos uma pequena quantidade de explosivo, onde poderíamos desprezar a forma dessas cargas, mas tirando esses poucos casos, de forma geral, podemos dizer que as nossas cargas explosivas são cilíndricas, porque vão estar dentro dos furos no momento da sua detonação, e isso vai influenciar diretamente o processo de detonação devido a forma como a energia vai ser liberada. Além disso, a rocha que vamos detonar não está perfeitamente distribuída ao redor da carga explosiva, e ela muda suas propriedades e condições, além de que ela não está isolada, o que faz com que a energia haja

de forma distinta em cada parte, além de que temos uma série de outros pontos que vão afetar a ação do explosivo sobre a rocha, e isso vai afetar o processo de detonação, e assim o processo de fragmentação da rocha.

Depois, mesmo considerando que a detonação da nossa carga ocorra muito rápido, ela ainda não ocorre de forma instantânea, pois existe um processo para que o explosivo seja acionado e por sua vez cause a detonação completa da carga explosiva, e esse processo leva um intervalo de tempo, que é realmente muito curto, mas ele existe, e é necessário que ocorra para que haja a completa detonação da carga explosiva, e por isso que não podemos ignorá-lo no processo de detonação.

Então quando vamos analisar a teoria da detonação, aplicada ao desmonte de rochas, não podemos considerar apenas a teoria da detonação de um explosivo atuando sobre uma rocha, precisamos considerar todo o processo envolvido, incluindo o formato da carga explosiva, seu processo de detonação, sua liberação de energia, as características da rocha e suas condições, assim como a dispersão da energia nesse processo.



## Iniciação da carga explosiva

Então, deixando um pouco o cenário teórico de lado, primeiro precisamos considerar que no nosso cenário padrão de desmonte de rochas, seja a céu aberto ou no subsolo, o que temos é uma carga cilíndrica, dentro de um furo feito na rocha, e que essa carga ao ser acionada não detona de forma instantânea, pois existe um processo de iniciação, que vai fazer com que a carga principal seja acionada, normalmente em uma das extremidades do furo, e depois disso, temos um outro processo, que vai ser a continuidade da reação gerando a detonação do resto da carga explosiva distribuída ao longo do furo.

Por tanto, o primeiro ponto que precisamos entender é que o processo de detonação é iniciado através de um estímulo inicial, que normalmente chamamos de energia de ativação, pois ela consiste na energia mínima necessária para iniciarmos determinado explosivo.

No desmonte de rochas, normalmente utilizaremos acessórios iniciadores para fornecer esse estímulo inicial, e uma das regras básicas da iniciação de um explosivo é que o estímulo inicial utilizado seja suficientemente energético para romper a estabilidade do explosivo ao ponto que ele venha reacionar, ou seja, detonar, provocando o início da reação química dos constituintes do explosivo, fazendo com que inicie o processo de detonação.

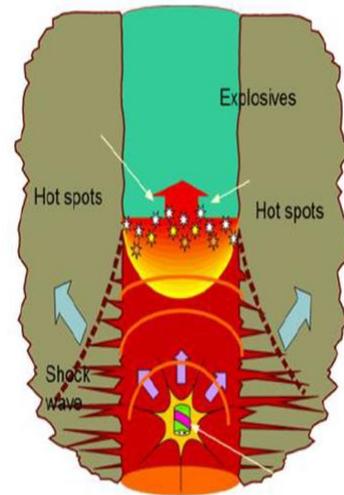
A reação de detonação vai iniciar no ponto em que recebeu o estímulo e se estenderá ao longo do explosivo, se auto propagando e se intensificando com a reação do próprio explosivo ao à medida que a sua carga vai se detonando.

Esse processo vai seguir ocorrendo ao longo do explosivo, até que ele atinja a sua velocidade de detonação, e a partir daí, ele deve seguir até que toda a massa explosiva seja detonada.

Normalmente tanto o estímulo inicial, como a própria detonação do explosivo, gera ondas de choque, que percorrem a massa explosiva, e isso é o que direciona a reação de detonação ao longo de todo o explosivo. Onde a velocidade dessas ondas e sua intensidade, são quem vão determinar a velocidade da reação, ou seja, a velocidade de detonação.

Idealmente queremos que o estímulo inicial supere a energia máxima do nosso explosivo, para que ele possa liberar ondas de choque, e iniciar o explosivo, numa velocidade maior do que a velocidade máxima do explosivo, e assim desde o início o explosivo possa apresentar o seu máximo desempenho, ou seja, sua máxima intensidade de detonação, pois assim a reação de continuidade e auto propagação da detonação se dará de forma mais forte e eficiente.

Isso aplicamos na pratica, seguindo o conceito de que os explosivos iniciadores devem ser mais potentes do que a carga principal, para que eles forneçam um estímulo adequado para o máximo desempenho do explosivo, e podemos considerar esse como um dos principais pontos para podermos maximizar a liberação da energia de um explosivo.



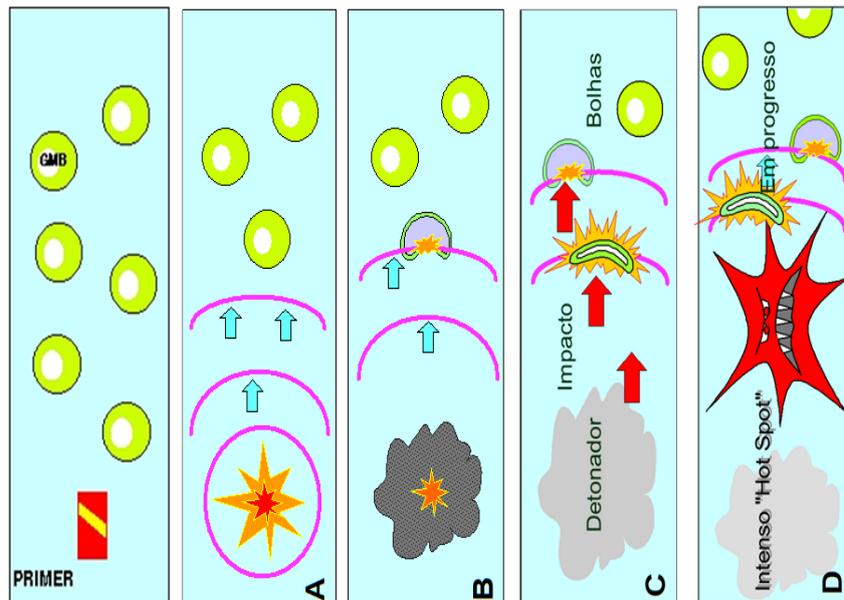
Quando temos um estímulo inicial fraco, mas que supere a energia mínima de ativação, ele vai iniciar o explosivo, mas a uma baixa velocidade de reação, e o explosivo vai precisar de um tempo maior para entrar em regime e atingir a sua velocidade de detonação padrão, o que faz com que tenhamos um desempenho inicial baixo da reação de detonação, e inclusive, em muitos casos podemos ter reações ineficiente ou até deflagrações, onde o explosivo não vai conseguir alcançar uma auto propagação eficiente, perdendo grande parte do seu desempenho.

## Propagação da detonação

Uma vez iniciado o explosivo de forma eficiente, o próximo passo é entender que apenas uma parte do explosivo (a que está no raio de alcance do iniciador) será acionado pelo estímulo inicial, e essa parte é quem será responsável por iniciar o processo de propagação da energia ao longo de todo o explosivo, dando continuidade ao processo de detonação, e isso chamamos de auto propagação da detonação.

Para entender o processo de auto propagação da detonação de um explosivo, já considerando o cenário real, ou seja, dentro de um furo, precisamos primeiro desconsiderar o tempo, porque isso ocorre muito rápido, mas para melhor entendermos o processo, podemos fazer uma divisão de eventos em quatro fases.

Podemos acompanhar cada etapa nos quadros na figura abaixo, onde temos inicialmente, o nosso furo, com a escorva que vai ser responsável por gerar o estímulo inicial para ativação da carga explosiva, que nesse caso o exemplo mais típico seria a de uma emulsão explosiva.



Então no quadro A, nós temos a primeira fase do processo, que é quando a escorva ou o iniciador detona, e com a sua detonação, ele gera o estímulo inicial, que gera ondas de choque que vão impactar o explosivo e dar início a reação de detonação

Depois, no quadro B, as ondas de choque geradas pela detonação do estímulo inicial vão atingir o explosivo, comprimindo as microbolhas, conhecidas como “hot spots” ou pontos de sensibilidade.

Ao comprimir as microbolhas, como vemos no quadro C, elas vão estar sobre pressão, fazendo com que sua pressão e temperatura interna vá subindo cada vez mais.

Então, como vemos no quadro D, as microbolhas em altas temperaturas vão se romper, iniciando o processo de propagação da detonação no explosivo. Quando isso ocorre, elas geram mais ondas de choque, que vão continuar se propagando pela massa do explosivo, comprimindo outras microbolhas, elevando suas temperaturas até que elas se rompam, e isso gere uma reação em cadeia, que chamamos de auto propagação da detonação, que é quando a detonação dos componentes do explosivo, seguem dando continuidade ao seu processo de detonação.

A partir de um certo ponto, o estímulo inicial já não interfere mais na reação, e apenas a auto propagação do explosivo segue dando continuidade a reação, até que toda carga explosiva do nosso furo detone. Por isso precisamos iniciar essa reação da melhor forma possível, para que ela se mantenha no maior nível de eficiência.

Isso ocorre muito rápido, e a reação ocorrerá de acordo com as características do estímulo inicial e do explosivo, que na prática, precisamos considerar que elas podem sofrer diversas alterações dentro do furo (presença de água, detritos, características da rocha, etc), e essas alterações podem melhorar ou piorar a reação frente a situação inicial. Aqui entra toda a necessidade de controle de qualidade, tanto do explosivo, como das condições de aplicação, para que não interfiram negativamente nesse processo.

Idealmente, queremos que a melhor parte da reação ocorra na iniciação, para que o explosivo possa ser iniciado da melhor forma possível, e assim consiga já gerar sua velocidade máxima, e mantenha ela, sem interferências ao longo de toda a carga explosiva.

Nós normalmente falamos da reação do explosivo em função da sua velocidade, porque é mais fácil de entendermos, e ela está diretamente ligada a energia e pressão de detonação, mas na verdade, quando dizendo que o explosivo reaciona a sua máxima velocidade, estamos querendo dizer que ele reaciona a sua máxima eficiência, o que significa que além da velocidade, as taxas de liberação de energia, pressão de detonação, geração de gases, elevação de temperatura e todos os produtos da detonação do explosivo estarão nos seus valores mais altos, segundo o tipo e condição do explosivo.

Então, de forma resumida, podemos dividir o processo de propagação da detonação em 4 etapas:

A – O estímulo inicial provoca ondas de choque

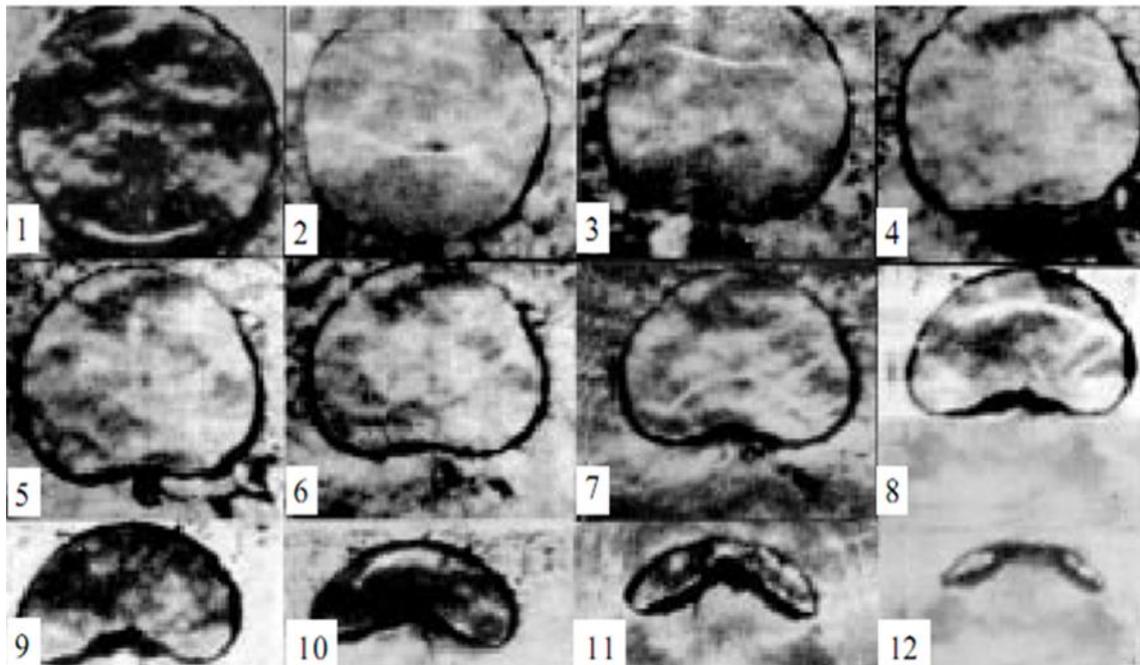
B – As ondas de choque quando atingem as microbolhas (pontos de sensibilidade) provocam uma compressão

C – A compressão das microbolhas provoca o aumento da temperatura e pressão interna

D – As microbolhas sofrendo alta pressão e elevação de temperatura se rompem, propagando mais ondas de choque, permitindo a continuidade do processo através da geração de novas ondas de choque que intensificam a ação das demais ondas de choque já em atuação.

Podemos considerar que esse processo ocorre em qualquer tipo de explosivo e nas diversas condições de aplicação do desmonte de rocha, tanto a céu aberto quanto subterrânea, onde alguns são mais representativos, como por exemplo longos furos com a carga explosiva distribuída no seu interior, até exemplos um pouco mais simplistas, como é o caso da detonação de uma carga de “João de barro” para rompimento de um bloco de rocha.

Aqui abaixo, temos um registro de uma microbolha ou “hot spot”, sendo comprimida ao ser atingida por uma onda de choque, onde ela se comprimi até o seu máximo, no quadro 12.



E como falamos, nesse momento do quadro 12, quando a bolha esta comprimida ao seu máximo, temos uma elevação da pressão e temperatura ao ponto dela não suportar e é ai que

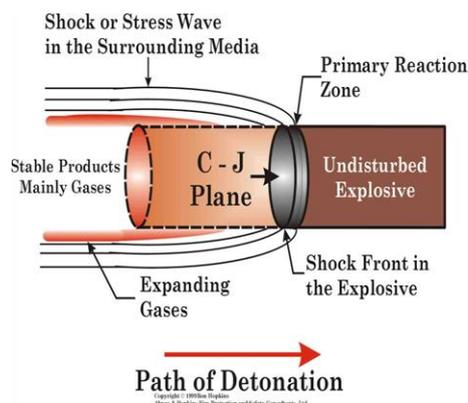
ela vai se romper, gerando uma onda de choque, causada pela rápida expansão do gás interno da bolha.

Na reação de detonação de um explosivo, esse processo ocorre em várias bolhas/pontos ao mesmo tempo, e ao longo da massa do explosivo, teremos bolhas em todos os estados, dependendo do momento e da intensidade das ondas de choque que já atingiram cada uma dessas bolhas.

## Zonas de reação/detonação

Assim, que quando analisamos todo o processo de detonação, que vai ocorrendo ao longo da carga explosiva, depois que essa carga recebe o estímulo inicial e inicia sua reação, ou seja, ao longo do processo de detonação, podemos identificar 3 zonas principais de reação desse processo.

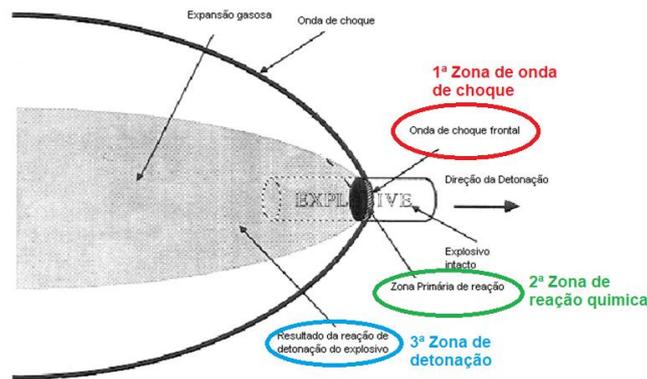
1ª) A primeira é o que chamamos de “zona de onda de choque”, que consiste na frente de detonação, onde a onda de choque está atingindo a massa explosiva que ainda está intacta, ou seja, é quando a onda de choque se encontra com as microbolhas (pontos de sensibilidade) que ainda não foram atingidas. Aqui na nossa figura podemos dizer que é justamente o limite do início do contato da onda com o explosivo (início da área marrom na figura a esquerda), que é onde o explosivo que ainda não detonou está sendo tocado pela primeira vez pela onda de choque.



2ª) Depois nós temos a nossa segunda zona, que é a zona de reação química, que consiste na área onde a onda de choque já passou, está comprimindo as microbolhas ou ativando os pontos de sensibilidade, e com isso algumas delas estão se rompendo e outras estarão logo em seguida, dando continuidade ao processo. Que podemos dizer que é representada pela área cinza da nossa ilustração a esquerda, também conhecida como plano “C J”, que é exatamente onde a reação de detonação está ocorrendo.

3ª) Por fim, nós temos a terceira zona, que é a área onde a reação já ocorreu, ou seja, as microbolhas já se romperam e o explosivo já detonou e está gerando os seus efeitos, que é a sua transformação em gases, que expandem a alta temperatura e pressão. Que aqui na nossa figura, é essa área vermelho claro, a esquerda, que é onde temos o início da reação do explosivo com a rocha.

Abaixo temos outra figura que nos ilustram o mesmo processo para um melhor entendimento.



Assim que durante o processo de detonação, podemos dizer que temos três zonas principais do explosivo, que são:

- Zona da onda de choque: É a frente de detonação, onde a onda de choque está se propagando e atingindo a massa explosiva ainda intacta.
- Zona de reação química: É a área que já sofreu a onda de choque e iniciou a reação química dos seus componentes:
- Zona de detonação: É a área que já realizou sua reação química e já está detonando.

É importante considerarmos que depois do estímulo inicial fornecido pelo iniciador, esses 3 processos ou zonas estarão presentes de forma simultânea, onde que eles precisam ocorrer de forma eficiente para que tenhamos uma boa liberação de energia do explosivo, pois por exemplo, se a onda de choque encontra uma parte do explosivo contaminada ou misturada com água, a reação que ocorrerá na fase 2 será ineficiente, gerando uma menor quantidade de energia na fase 3, e isso afetará a continuidade do processo.

Por isso precisamos ter em mente que todo o processo de detonação pode ser afetado por diversos fatores, e claro que isso afetará o andar e o desempenho da nossa detonação. Assim que precisamos entender bem o processo, da mesma forma que precisamos entender bem o que pode afetá-lo, para assim poder controlar a qualidade e a performance do desmonte de rochas.

Por hoje nós vamos ficando por aqui, daremos continuidade no próximo artigo falando sobre alguns fatores que podem afetar o processo de detonação, assim como os principais efeitos da detonação, para nos artigos seguintes poderemos falar sobre o processo de fragmentação da rocha.

Pois é isso pessoal, é muito bom estar podendo voltar com as nossas publicações e esperamos poder seguir contribuindo com a disseminação do conhecimento sobre o desmonte de rochas.

Confesso que esse ano parece que vai ser muito corrido, mas tentaremos ao nosso máximo para seguir a risca com os nossos artigos, e deixamos aqui mais uma vez o convite para aqueles que desejarem contribuir com alguns artigos ou comentários, pois como sempre dizemos, o espaço estará sempre aberto.

Por favor comentem e compartilhem, para que tenhamos detonações cada vez mais seguras e de qualidade!!!

Que 2023 seja um ano de muita saúde, felicidade, sucesso e boas detonações!!!

A Blasting Treinamentos deseja ajudar você a moldar o mundo com segurança e qualidade.

**Cursos de Desmonte de Rochas com Explosivos:**

Português -> <https://hotmart.com/pt-br/marketplace/produtos/curso-completo-de-desmonte-de-rochas-com-explosivo-2022/B61107994S>

English -> <https://hotmart.com/en/marketplace/products/blastingtraining/U66086910H>

[www.blastingtreinamentos.com](http://www.blastingtreinamentos.com)

[blastingtreinamentos@gmail.com](mailto:blastingtreinamentos@gmail.com)